ZUR

LEHRE VOM LICHTSINNE.

SECHS MITTHEILUNGEN

AN DIE

KAISERL. AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN IN WIEN

VON

EWALD HERING,
PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE IN PRAG.

ZWEITER UNVERÄNDERTER ABDRUCK.

WIEN.
DRUCK UND VERLAG VON CARL GEROLD'S SOHN.
1878.

R52736

Erste Mittheilung.

Über successive Lichtinduction.

(Vorgelegt in der Sitzung am 8. Juni 1872.)

§. 1.

Vorbemerkungen.

Als ich vor einigen Jahren an die Herausgabe des zweiten Abschnittes einer monographischen Arbeit „über das binoculare Sehen“ [1]) gehen wollte, welcher Abschnitt die binocularen Lichtempfindungen zu behandeln hat, kam ich sehr bald zu der Überzeugung, daß der Erfolg meiner Bemühungen ein sehr zweifelhafter sein müsse, wenn ich nicht zuvor die jetzt herrschenden Theorien der Lichtempfindung überhaupt einer ausführlichen Kritik unterworfen hätte. Da diese Kritik für mich zugleich den Versuch einer Widerlegung vieler, jetzt fast allgemein verbreiteter Ansichten mit sich gebracht hätte und deshalb eine ziemlich umfassende Arbeit geworden wäre, so unterließ ich sie damals gänzlich, womit mir freilich auch die Fortsetzung der erwähnten Monographie vorerst unmöglich gemacht war.

Seitdem hat mich die fortgesetzte Beschäftigung mit physiologischen und psychologischen Fragen immer mehr in der Überzeugung bestärkt, daß jene moderne Richtung der Sinnenphysiologie, welche insbesondere in der „Physiologischen Optik“ von Helmholtz den scharfsinnigsten Ausdruck gefunden hat, uns nicht zur Wahrheit führt, und daß, wer der Forschung auf diesem Gebiete neue Wege erschliessen will, sich zuerst freimachen muß von den jetzt herrschenden Theorien.

Die Unzulänglichkeit der letzteren hat meiner Ansicht nach ihren wesentlichsten Grund in der spiritualistischen oder, wie

[1]) Die Lehre vom binocularen Sehen. Leipzig 1868.

man sie euphemistisch bezeichnet hat, „psychologischen“ Behandlung von Fragen, die, wenn sie überhaupt mit Erfolg erörtert werden sollen, physiologisch untersucht werden müssen. Es zieht sich durch die moderne Sinnenphysiologie in ähnlicher Weise ein verhängnißvolles Vorurtheil, wie früher durch die Physiologie überhaupt. Wie man nämlich einst alles, was man nicht physiologisch untersuchen konnte oder wollte, aus einer Lebenskraft erklärte, so erscheint jetzt auf jedem dritten Blatte einer physiologischen Optik die „Seele“ oder der „Geist“, das „Urtheil“, oder der „Schluß“ als deus ex machina, um über alle Schwierigkeiten hinweg zu helfen. Wie es ferner in der That noch unzählige Lebenserscheinungen gibt, die früher, und zwar selbstverständlich ganz überflüssiger Weise, wenn auch zuweilen recht scharfsinnig, aus der Lebenskraft erklärt worden sind, und die wir uns auch heute noch mit unserer ganzen Physik und Chemie nicht annähernd klar machen können, so gibt es auch noch zahllose Sinnesphänomene, die wir für jetzt einer eigentlich physiologischen Untersuchung noch nicht unterwerfen können, und diese sind für die spiritualistische Physiologie ein sehr dankbares Gebiet, das ihr vorerst Niemand streitig machen wird. Daß aber auch zahlreiche Erscheinungen, die schon jetzt eine physiologische Untersuchung zulassen, noch immer mit psychologischen Gemeinplätzen abgethan werden, ist wohl zu bedauern.

Im Gegensatze zu dieser spiritualistischen Richtung, welche sich begnügt, die Gesetze der Sinneserscheinungen, so weit sie nicht bereits physiologisch erklärt sind, aus der Eigenthümlichkeit des menschlichen Geistes abzuleiten, habe ich mich von Anfang an auf den physiologischen Boden gestellt und mich bemüht, die Phänomene des Bewußtseins als bedingt und getragen von organischen Processen anzusehen und Verlauf und Verknüpfung der ersteren aus dem Ablauf der letzteren zu erläutern, soweit dies eben bis jetzt überhaupt möglich ist. Es ist nicht meine Absicht, hier den tief greifenden Unterschied ausführlicher darzulegen, welcher zwischen meiner Auffassung, sowie meiner Art, die Probleme der Sinnenphysiologie zu behandeln, und jener jetzt vorwaltenden spiritualistischen Ansicht und ihrer Methode besteht.

Dieser Unterschied wird dem aufmerksamen Leser schon in der vorliegenden kleinen Abhandlung, noch mehr aber in den fol-

genden ersichtlich werden. Ich betone denselben jetzt hauptsächlich deshalb, um schon hier Einspruch zu erheben gegen die Bezeichnung, welche man meiner Theorie des Binocularsehens neuerdings zu geben pflegt. Helmholtz hat dieselbe nämlich als die „nativistische“ bezeichnet, im Gegensatze zu der von ihm vertheidigten, welche er die „empiristische“ nennt. Diese Bezeichnungen sind durchaus nicht zutreffend, denn sie machen einen ganz nebensächlichen Punkt zur Hauptsache. Zwischen „Nativismus“ und „Empirismus“ besteht kein grundsätzlicher, sondern nur ein gradweiser Unterschied. Wenn uns, um dies hier abermals auszusprechen, die Organe angeboren sind, so sind es bis zu einem gewissen Grade auch ihre Functionen, das müssen selbst die strengsten „Empiristen“ zugeben; und anderseits hat es nie einen „Nativisten“ gegeben, der den gewaltigen Einfluß geleugnet hätte, welchen Gebrauch und Übung auf die Functionen unserer Organe und insbesondere der Sinnesorgane hat. Es kann sich also zwischen „Nativisten“ und „Empiristen“, soweit sie wirkliche Physiologen sind, nur darum handeln, ob man die Grenzen des Angebornen weiter oder enger zu ziehen habe. Der Spiritualist freilich wird immer geneigt sein, das Gebiet des Angebornen einzuengen, um für den menschlichen Geist einen freieren Spielraum zu gewinnen und denselben als möglichst unabhängig von seiner organischen Grundlage darstellen zu können. Daher sind die Spiritualisten mit Vorliebe auch „Empiristen“.

„Empirismus“ und „Nativismus“ sind also keine Gegensätze, solange nur ihre Methode eine wahrhaft physiologische bleibt. Dies wird besonders einleuchtend, wenn man bedenkt, daß der nativistische Physiolog im Grunde auch Empirist ist, insofern er nämlich dasjenige, was der jetzt sogenannte Empirismus als einen Erwerb des individuellen Lebens ansieht, als einen Erwerb des Lebens aller jener zahllosen Wesen betrachtet, mit welchen das jetzt lebende Individuum in aufsteigender Linie verwandt ist und von welchen es das ihm Angeborne geerbt hat. Dagegen liegt zwischen der spiritualistischen und der physiologischen Methode eine tiefe Kluft. Denn es ist ein ganz grundsätzlicher Unterschied, ob ich die Gesetze der Regungen des Bewußtseins aus den Gesetzen der Bewegungen des organischen Stoffes abzuleiten suche, oder ob ich mir diese Mühe erspare und kurzweg sage,

jene Gesetze sind eben eine Eigenthümlichkeit des Geistes oder der Seele, und es ist z. B. etwas sehr verschiedenes, ob ich die Erscheinungen des Contrastes auf eine Reaction der Nervenelemente zurückführe oder sie aus der Natur „des menschlichen Geistes“ erkläre.

Diesen tiefgreifenden Unterschied der Methoden nicht erkannt oder wenigstens nicht anerkannt zu haben, das ist's, was ich meinen wissenschaftlichen Gegnern fast zum Vorwurfe machen möchte. Freilich, hätten sie ihn recht erkannt, so wären sie wohl kaum meine Gegner.

Es gibt noch immer unter den Naturforschern manchen heimlichen Anhänger der Lebenskraft, aber kein Naturforscher, der diesen Namen mit Ehren trägt, wird es heute wagen, die Lebenskraft als einen Factor in die Mechanik der Lebensprocesse rechnend einzuführen. Und mehr verlange ich auch von der spiritualistischen Physiologie nicht. Möge sie im Stillen und in philosophischen Abhandlungen ihren Ansichten über die Natur des menschlichen Geistes nachhängen, als ein Erklärungsprincip darf sie den letzteren nicht in die Sinnenphysiologie einführen, wenn sie sich nicht eines methodischen Fehlers schuldig machen will.

Man kann allerdings die Erscheinungen des Bewußtseins ohne alle Rücksicht auf ihr organisches Substrat untersuchen, man kann sie sichten, ordnen, allgemeine Gesetze ihres Verlaufes und ihrer Verknüpfung abstrahiren und dann die Einzelphänomene ableitend aus diesen Gesetzen erklären. So ist im wesentlichen zeither die philosophische Psychologie verfahren, soweit sie als rein empirische überhaupt etwas Positives leistete. Wir haben auf diesem Wege schätzbare Kenntnisse gewonnen; weit sind wir aber im Ganzen nicht gekommen. Es ist eben nicht besonders zweckmässig, sich über die Bewegungen eines Spiegelbildes den Kopf zu zerbrechen, wenn man den gespiegelten Körper selbst in seinen Bewegungen untersuchen kann. Wo das letztere noch nicht möglich ist, bleibt freilich nichts anderes übrig, als das Erstere zu thun.

Ganz anders, als diese philosophische Psychologie, welche bisher im Wesentlichen nur eine descriptive war, verfährt die physiologische Psychologie, oder wie ich sie lieber nennen möchte,

die Physiologie des Bewußtseins. Sie betrachtet die Bewußtseinsphänomene als Functionen physischer Vorgänge, und indem sie bei der Untersuchung der ersteren immer zugleich auch die letzteren im Auge behält, fließt ihr die Erkenntniß aus doppelter Quelle: das physische Ereigniß macht ihr das psychische verständlich und das psychische Ereigniß wirft umgekehrt sein Licht auf das physische.

§. 2.

Beschreibung des negativen Nachbildes einer hellen Scheibe auf dunklem Grunde.

Betrachtet man bei mässiger Beleuchtung mit beiden Augen unverrückten Blickes den irgendwie bezeichneten Mittelpunkt einer kleinen hellen Scheibe auf weit ausgedehntem dunklen Grunde eine Viertel- bis ganze Minute lang, schließt dann die Augen und schützt sie noch ausserdem vor dem Eindringen des Lichtes durch die Lider, so sieht man auf dem Grunde des mehr oder weniger dunklen Sehfeldes eine meist noch dunklere Scheibe scharf begrenzt und umgeben von einem lichten Hofe. Seine größte Helligkeit hat dieser Lichthof, wie ich ihn nennen will, in unmittelbarer Nähe des Nachbildrandes, und es nimmt seine Helligkeit in centrifugaler Richtung mehr oder weniger rasch ab, um sich schließlich unmerklich in den dunklen Grund zu verlieren.

Jeder Laie, den ich den Versuch anstellen ließ, bestätigte das Angegebene. Da aber ausserdem bei diesem Versuche vielerlei anderes zu beobachten ist, dessen Beschreibung mehrere Seiten füllen könnte, so bekommt man von Laien, wenn sie irgend zu beobachten verstehen, gewöhnlich auch noch Mittheilungen über die dabei auftretenden subjectiven Farben, über den Helligkeitswechsel, das vorübergehende Verschwinden, die scheinbaren Bewegungen des Nachbildes u. a. m. Alles dies kommt hier noch nicht in Betracht, da ich zunächst nur auf das Gewicht legen will, was jeder Laie angibt, wenn man ihn nur zur Beschreibung des Gesehenen auffordert.

Aus meiner eigenen, übrigens auch von Anderen bestätigten Erfahrung will ich zur näheren Erläuterung vorläufig nur noch folgendes hinzufügen:

Der lichte Hof des Nachbildes der weißen Scheibe ist, wenn bei mäßiger Beleuchtung experimentirt wird, im Allgemeinen um so heller und breiter, je länger die Scheibe fixirt wird. Nach sehr langer Fixation sehe ich ihn sogar intensiv leuchtend. Vorübergehend reducirt er sich bisweilen auf einen schmalen hellen Saum, um bald nachher sich wieder auszubreiten, und was dergleichen Wechselphänomene mehr sind. Immer aber ist, sofern nur das Nachbild der Scheibe überhaupt deutlich sichtbar ist, auch der mehr oder minder breite Lichthof vorhanden.

Das Nachbild der Scheibe selbst kann in seiner Helligkeit im Vergleich zu der des allgemeinen Grundes variiren, so viel aber steht fest, daß es immer dunkler erscheint als der lichte Hof. Die Farben des Nachbildes und seines Lichthofes sind sehr verschieden, je nachdem man den Versuch bei natürlicher oder künstlicher Beleuchtung anstellt, worauf erst später eingegangen werden kann.

Vor der Anwendung einer irgend starken Beleuchtung muß bei diesem wie bei allen folgenden Versuchen ganz besonders gewarnt werden, weil man dadurch nicht blos seine Augen angreift, sondern, was das eigentlich Wesentliche ist, ganz andere und sozusagen unreine Resultate bekommt. Wie es nicht zweckmäßig wäre, die Untersuchungen über den Wärmesinn damit zu beginnen, daß man übermäßige Hitze oder Kälte auf die Haut wirken ließe, so ist es auch methodisch falsch, die Netzhaut mit intensivem Lichte zu blenden, wenn man ihre sozusagen normale Thätigkeit untersuchen will. Wenn bei unserem Versuche das Nachbild der Scheibe sich nicht in der beschriebenen Weise zeigt, sondern ein deutlich entwickeltes positives Nachbild sich dauernd oder mehrmals wiederkehrend bemerklich macht, so war die Beleuchtung für das Versuchsauge zu stark.

Endlich sei noch besonders betont, daß der beschriebene, wie auch die folgenden Versuche, mit beiden Augen gleichzeitig anzustellen sind. Das Experimentiren mit nur einem Auge bedingt eine überflüssige Complication durch den Wettstreit der Sehfelder.

§. 3.

Der Lichthof des dunklen negativen Nachbildes fordert eine physiologische Erklärung.

Das im Vergleich zu seiner Umgebung dunkle Nachbild der hellen Scheibe, wie man es bei unserem Versuche gewinnt, erklärt man jetzt bekanntlich daraus, daß die vom Lichte der Scheibe getroffene Netzhautstelle ermüdet sei und deshalb nach Bedeckung der Augen durch die innern Reize minder stark erregt werde, oder anders gesagt, ein schwächeres Eigenlicht entwickele, als die übrige Netzhaut. Das ist also zwar eine physiologische Erklärung des negativen Nachbildes, nicht aber des Lichthofes. Von dem letzteren sagt die Ermüdungstheorie nichts, und sie kann es auch nicht, weil sie eben ganz ausschließlich nur auf das negative Nachbild berechnet ist.

Da also diese physiologische Theorie der Nachbilder zur Erklärung des Lichthofes nicht ausreicht, so pflegt man letzteren „psychologisch“ zu erklären. So sagt Helmholtz in seiner physiologischen Optik S. 360: „Es kann das negative Nachbild sogar im ganz dunklen Gesichtsfelde sichtbar werden, indem es hier als eine Verminderung der Helligkeit des Eigenlichtes der Netzhaut erscheint. In der Regel erscheint dann dieses Eigenlicht selbst in der nächsten Umgebung des dunklen Nachbildes durch Contrast mit diesem etwas heller“. Helmholtz nimmt also den Lichthof des dunklen Nachbildes für eine Folge des simultanen Contrastes, und da er diesen rein psychologisch, d. h. aus einer Urtheilstäuschung erklärt, so bot sich ihm für eine eigentliche Untersuchung des Phänomens kein Anlaß.

Mir ist dagegen dieser Lichthof als eine durchaus ebenso merkwürdige Thatsache erschienen, wie das negative Nachbild selbst, und ich habe mich mit jener psychologischen Erklärung umsoweniger begnügen können, als man ganz mit demselben Rechte auch das negative Nachbild selbst psychologisch erklären, d. h. sagen könnte, die relative Dunkelheit des Nachbildes sei die Folge davon, daß man die Helligkeit dieser Stelle im Vergleich zu ihrer früheren viel größeren Helligkeit unterschätze.

Für mich würde übrigens die psychologische Erklärung des erwähnten Lichthofes aus dem simultanen Contraste schon deshalb hinfällig sein, weil ich den Hof des Nachbildes auch dann sehe, wenn das letztere eben einmal gar nicht dunkler ist als der Grund überhaupt, obwohl es dunkler ist als der Hof. Aber angenommen, Andere könnten diese nur unter besonderen Umständen auftretende Erscheinung nicht sogleich bestätigen, so ist doch überhaupt nicht einzusehen, warum, wenn es sich nur um ein falsches Urtheil handelte, dieses Urtheil uns nur über den Helligkeitsgrad der nächsten Umgebung des Nachbildes und nicht über den des ganzen Grundes überhaupt täuschen sollte. Die ganz gesetzmässige räumliche Begrenzung, innerhalb welcher sich das angebliche falsche Urtheil äußert, sollte, so meine ich, denn doch dazu auffordern, auch nach örtlichen Ursachen zu suchen und nicht gleich zum Übersinnlichen seine Zuflucht zu nehmen, das heißt auf jede wirkliche Erklärung zu verzichten.

Die spiritualistische Physiologie behauptet also, daß das Eigenlicht der Netzhaut zwar an der Stelle des Nachbildes in Folge der Ermüdung schwächer, daß es aber in der unmittelbaren Umgebung durchaus nicht heller sei, als auf der übrigen Netzhaut, daß wir vielmehr nur urtheilen, es sei in der Nähe des Nachbildes heller, weil letzteres dunkler ist, als der Grund im Allgemeinen. Warum wir aber so urtheilen, wird nicht weiter erklärt, denn die Contrasterscheinungen sind eben eine Eigenthümlichkeit des menschlichen Geistes.

Wenn ich nun auch überzeugt war, daß der beschriebene Lichthof ebenso wie zahllose andere Contrasterscheinungen in einer geänderten Thätigkeit der betroffenen Netzhautstelle begründet sei, so schien es mir doch immer sehr schwer, die Anhänger der spiritualistischen Theorie zu meiner Ansicht zu bekehren, weil ich mir sagen mußte, daß wer sich durch Erklärungen, wie die oben angeführte, überhaupt befriedigt findet, auch um spiritualistische Hilfssätze nie verlegen sein wird, wenn der Hauptsatz Einwendungen erfährt; denn schließlich läßt sich jedes Sinnesphänomen in allen seinen Einzelheiten aus der Eigenthümlichkeit des menschlichen Geistes ableiten mit demselben Rechte oder Unrechte, mit welchem man jede beliebige Naturerscheinung aus der Allmacht des Schöpfers erklären kann. Ich bemühte mich daher, für meine eigene Ansicht entscheidende experimentelle Beweise beizubringen, d. h. für die blosse Anschauung und ohne irgend welchen Appell an das physiologische Gewissen des Experimentirenden den Beweis zu erbringen, daß der lichte Hof um ein dunkleres Nachbild in einer gesteigerten Entwickelung des sogenannten Eigenlichtes der betroffenen Netzhautstellen, also wirklich physiologisch begründet sei.

Unter Netzhaut oder Netzhautstelle möchte ich hier, wie in dieser Abhandlung überhaupt, nicht blos die im Augapfel selbst gelegenen Theile des nervösen Sehapparates, sondern auch die mit der eigentlichen Netzhaut in näherer Verbindung stehenden Nervenfasern und Hirntheile verstanden wissen, soweit nämlich dieselben beim Zustandekommen einer Lichtempfindung mit betheiligt sind. Wir wissen bis jetzt noch nichts Sicheres über den Ort des psychophysischen Processes, an welchen die Lichtempfindung unmittelbar geknüpft ist. Wenn ich daher von Reaction oder veränderter Thätigkeit einer Netzhautstelle spreche, müßte ich, um nichts zu präjudiciren, eigentlich jedesmal hinzufügen: „Beziehentlich derjenigen Opticusfasern und Hirntheile, welche beim Zustandekommen

der Empfindung des auf jene Netzhautstelle wirkenden Lichtreizes mit betheiligt sind".

§. 4.

Wenn die Lichthöfe zweier benachbarten dunklen negativen Nachbilder ineinandergreifen, so verstärken sie sich gegenseitig in ihrer Helligkeit.

Wenn es richtig ist, daß der helle Hof um ein dunkles negatives Nachbild, durch eine erhöhte Entwickelung von Eigenlicht an der betroffenen Netzhautstelle bedingt ist, so läßt sich erwarten, daß, wenn wir dieser Netzhautstelle eine doppelte Veranlassung zur gesteigerten Entwickelung des Eigenlichtes geben, dieses letztere nun auch um so heller und entschiedener sich bemerkbar machen werde.

Nehmen wir also zwei gleichgroße Quadrate weißen Papiers vom ungefähren Durchmesser der vorhin benutzten Scheibe, und legen sie parallel neben einander auf einen möglichst tiefschwarzen Grund derart, daß die beiden einander zugewandten Seiten etwa 4 Mm. von einander abstehen. Hierauf fixiren wir einen in der Mitte des dunklen Zwischenraumes der beiden Quadrate gelegenen und irgendwie fein bezeichneten Punkt in der oben beschriebenen Weise. Im Gesichtsfelde der nachher vollständig gedeckten Augen erscheinen uns dann die negativen Nachbilder der beiden Quadrate in ganz analoger Weise, wie vorhin das negative Nachbild der weißen Scheibe, beide umgeben von hellen Höfen gleich dem oben beschriebenen, und in der That bemerken wir, daß der Zwischenraum der beiden quadratischen Nachbilder im Allgemeinen intensiver leuchtet, als die übrigen Theile der hellen Höfe. Ich sage „im Allgemeinen", weil infolge der Wandelbarkeit des Phänomens wohl ab und zu eine Phase eintritt, bei welcher dies nicht so entschieden ist; aber man merke wohl, daß dies eben nur vorübergehend der Fall und im Übrigen die größere Helligkeit der Stelle, wo gleichsam beide Höfe sich decken, eine so constante und leicht zu beobachtende Erscheinung ist, daß jeder intelligente Laie sie wahrnimmt. Im Beginne der Beobachtung des Nachbildes können die Lichthöfe überall so hell er-

scheinen, daß die noch größere Helligkeit des lichten Zwischenraumes der quadratischen Nachbilder nicht sogleich auffällt, sobald aber die Lebhaftigkeit des ganzen Bildes nachläßt, tritt jene deutlich hervor, und am schlagendsten ist diejenige Phase der Erscheinung, bei welcher die Nachbilder der Quadrate ganz verschwinden, und nur noch der frühere Zwischenraum zwischen beiden fortleuchtet und als heller Streifen auf einem gleichmäßig dunkeln Grunde erscheint. Laien haben mir ihr Erstaunen ausgedrückt, als sie dies sahen. Denn daß sie im Nachbilde die Quadrate wiedersehen, wenn auch in veränderter Beleuchtung, überrascht sie zwar auch, sofern sie noch nie auf Nachbilder geachtet haben, aber daß sie bei diesem Versuche nur einen Streifen sehen, dem gleichsam nichts Reales im Vorbilde entspricht, erweckt ihnen neues Staunen.

Um die größere Helligkeit der Stelle des Grundes, wo die beiden Lichthöfe sich decken, zu erklären, werden die Anhänger der spiritualistischen Theorie wahrscheinlich sagen, unser Urtheil werde hier doppelt stark gefälscht, weil ihm dazu von zwei Seiten her durch die dunkeln Nachbilder der Quadrate Veranlassung gegeben werde, etwa so, wie man eine falsche Nachricht um so sicherer glaubt, wenn man gleichzeitig von zwei Seiten belogen wird. Was aber die Thatsache betrifft, daß man den im Vorbilde dunkeln Zwischenraum auch dann noch leuchtend sieht, wenn die negativen dunkeln Nachbilder gar nicht mehr gleichzeitig sichtbar sind, sondern man außer dem hellen Streifen nur noch einen gleichmäßigen dunkeln Grund sieht, so müßte die spiritualistische Theorie behaupten, daß, nachdem man einmal, verführt durch den Contrast, die falsche Idee gefaßt habe, dieser Theil des Gesichtsfeldes sei heller als alles Übrige, man sich nun von diesem Irrthum nicht sobald wieder losmachen könne, wenn auch die veranlassenden Ursachen der Täuschung bereits verschwunden sind; wie man denn in der That eine Lüge auch dann noch glauben kann, wenn die Lügner bereits wieder fort sind.

Hier böte sich nun für die Spiritualisten ein Anknüpfungspunkt, um auch die positiven Nachbilder in analoger Weise „psychologisch“ zu erklären. Bekanntlich gibt ein lichter Streifen auf dunklem Grunde, wenn man ihn kurze Zeit betrachtet hat, im Gesichtsfelde des nachher geschlossenen Auges ein deutliches, wenn auch rasch vorübergehendes Nachbild, welches eben-

falls hell auf dunklem Grunde erscheint, ganz so wie bei unserem Versuche der dunkle Zwischenstreif zwischen den Quadraten. Wenn man nicht wüßte, wie man sich das Nachbild erzeugt hat, so könnte man in der That beide Phänomene durchaus verwechseln, da abgesehen von der Dauer ein wesentlicher Unterschied nur in der Erzeugungsweise beruht. So gut nun die Spiritualisten sagen können, daß bei unserem Versuche der helle Streif nach dem Verschwinden der dunklen Nachbilder deshalb noch eine kurze Weile sichtbar sei, weil wir uns nicht schnell genug von unserem falschen Urtheil über die Helligkeit dieser Stelle des Gesichtsfeldes frei machen können, so gut könnten sie auch sagen, man sehe nach kurzer Betrachtung eines hellen Streifens auf dunklem Grunde auch nach Schluß der Augen darum noch eine Weile einen entsprechenden hellen Streifen im Gesichtsfelde, weil wir uns nicht schnell genug von der ursprünglich richtigen Ansicht frei machen können, daß die entsprechende Stelle des Gesichtsfeldes wirklich durch Licht gereizt werde. Die Spiritualisten würden durch die gegebene „psychologische“ Erklärung der jetzt verbreiteten physiologischen Hypothese überhoben, welche den Grund der positiven Nachbilder in einer Fortdauer der Erregung der betreffenden Netzhautstellen sucht, und in die spiritualistische Theorie käme auf diese Weise etwas mehr Zusammenhang und Consequenz der Durchführung.

Ich habe mir diese kleine Abschweifung erlaubt, um zu zeigen, daß es nicht schwer ist, psychologische Erklärungen zu geben, und um diese Art Erklärungen im Interesse des Folgenden in's richtige Licht zu setzen. Vielleicht ist jetzt wenigstens bereits so viel erreicht, daß durch den hier besprochenen Versuch Einer oder der Andere zu zweifeln beginnt, so daß der Versuch des folgenden Paragraphen schon günstigere Bedingungen vorfindet.

Nehmen wir statt der beiden kleinen weißen Quadrate zwei beliebig größere, ebenfalls um circa 4 Mm. von einander abstehende, so bleibt die Erscheinung in Bezug auf den im Nachbilde hellscheinenden Mittelstreif im Wesentlichen ganz dieselbe. Nimmt man die Quadrate so groß, daß sie fast an die Grenze des Sehfeldes reichen, so gilt immer noch für diesen Mittelstreifen dasselbe, wenn man auch die jetzt auf den peripherischen Netzhauttheilen gelegenen Ränder der Quadrate gar nicht mehr sieht. Man hat dann eigentlich nur das negative Nachbild eines dunklen Streifens auf weit ausgebreitetem hellen Grunde vor sich, wovon der nächste Paragraph handelt.

§. 5.

Beschreibung des negativen Nachbildes eines dunklen Streifens auf hellem Grunde.

Legt man einen etwa 4 Mm. breiten Streifen mattschwarzen Papieres auf einen weit ausgebreiteten rein weißen Grund und

fixirt fest seine durch einen weißen Punkt bezeichnete Mitte eine Viertel- bis ganze Minute lang, so bemerkt man nachher im dunklen Sehfelde der geschlossenen und gedeckten Augen einen hellen Streifen. Indem ich nun wieder von den Farben des Streifens und ihrem Wechsel, von etwa vorhandenen schmalen, andersfarbigen Säumen, von der verschiedenen Helligkeit des Nachbildes an verschiedenen Stellen, von seinem Phasenwechsel etc. völlig absehe, betone ich hier nur zweierlei: die unter günstigen Umständen sehr intensive Helligkeit des Nachbildes und das Fehlen eines dem oben (§. 2) beschriebenen Lichthofe entsprechenden dunklen Hofes. Man könnte nämlich nach Analogie des Lichthofes der dunkeln negativen Nachbilder jetzt einen entsprechenden dunkeln Hof um das helle negative Nachbild erwarten, ganz besonders in Hinblick auf die psychologische Erklärung, welche von jenem Hofe gegeben wurde. Denn der Contrast zwischen dem hellen Nachbilde und dem dunkeln Grunde ist hier im Allgemeinen noch bedeutender, als bei unserem ersten Versuche und der Grund erscheint keineswegs absolut schwarz, vielmehr in einer mässigen und zuweilen sogar sehr mässigen Dunkelheit, daher denn die Dunkelheit dieses Grundes in der unmittelbaren Nähe des zuweilen sehr hell leuchtenden Nachbildes sehr wohl durch „Contrast“ verstärkt werden könnte. Wenn es nun auch vorkommt, daß Einzelne zwar nicht von selbst, aber doch auf besonderes Fragen, zugeben, daß die allernächste Nachbarschaft des Nachbildes etwas andersartig erscheint als der übrige Grund, so ist dies doch bei Laien nur eine Ausnahme, und sie bestätigen, daß von einem Vergleiche dieser Erscheinung mit dem lichten Hofe des dunkeln negativen Nachbildes nur entfernt die Rede sein könne. Und was mich selbst betrifft, so kann ich letzterem nur beistimmen, wobei ich mir jedoch die genaue Erörterung dieses Punktes vorbehalte. Hier will ich eben nur von dem sprechen, was Jeder sozusagen mit Händen greifen kann. Das Wichtigste bei dem ganzen Versuche ist nämlich die große Helligkeit des Nachbildes, welche sich unter günstigen Umständen zu einem intensiven Leuchten steigert.

Sehen wir nun, wie man jetzt dieses Phänomen erklärt. Im Anschlusse an Fechner's Theorie sagt Helmholtz, S. 363: „Was die negativen Bilder im ganz verdunkelten Gesichtsfelde

betrifft, so lehrt der Augenschein, daß sie durch Verringerung des Eigenlichtes der Netzhaut zu Stande kommen. Dieses Eigenlicht also, welches wir aus der Wirkung innerer Reize auf den Sehnervenapparat herleiten müssen, unterliegt den Wirkungen der Ermüdung ebenso wie der Eindruck des äußeren Lichtes.“ Auf unsern Versuch übertragen, will dies sagen, daß die ganze Netzhaut mit Ausnahme der Stelle, auf welcher das Bild des schwarzen Streifens lag, ermüdet wurde, daß darum im Sehfelde des geschlossenen Auges nur die unermüdete Netzhautstelle noch das ungeschwächte Eigenlicht zeigt, während dasselbe auf der ganzen übrigen Netzhaut sehr vermindert ist.

Dieser bis hierher allerdings ganz physiologischen Erklärung widerspricht nun aber die unbefangene Anschauung insofern, als uns das negative helle Nachbild viel heller erscheint, als sonst unter normalen Verhältnissen das Eigenlicht der Gesammtnetzhaut, auch wenn wir die Augen eine Viertel- bis ganze Minute geschlossen und somit die Netzhaut gleich lange ruhen liessen, als bei unserem Versuche den größten Theil derselben. Um nun diese im Vergleich zur gewöhnlichen Helligkeit des Eigenlichtes höchst auffallende und bisweilen förmlich leuchtende Helligkeit des negativen Nachbildes zu erklären, greift man wieder zum „falschen Urtheil“. Der starke Contrast, so sagt man, zwischen der Helligkeit des Nachbildes und der Dunkelheit des übrigen Gesichtsfeldes, welche Dunkelheit jetzt infolge der Ermüdung viel größer sei als gewöhnlich, lasse uns das Nachbild für viel heller halten, als es wirklich ist. Man fügt wohl auch hinzu, daß diese falsche Beurtheilung der Helligkeit des Nachbildes dadurch unterstützt werde, daß wir irrigerweise annehmen, das Gesichtsfeld sei im Allgemeinen nicht dunkler, als es sonst bei geschlossenen Augen ist, und daß wir in Folge dessen die Helligkeit des Nachbildes um ebensoviel überschätzen, als wir die Dunkelheit des Grundes unterschätzen.

Es ist nun, wie ich aus vielfacher Erfahrung weiß, gegenüber solchen Erklärungen ganz erfolglos, sich auf die unbefangene Anschauung zu berufen, welche Jedem zeigt, daß das negative Nachbild des schwarzen Streifens viel heller erscheint, als der innere Lichtnebel selbst dann, wenn wir die Augen viel länger als eine Minute geschlossen liessen. Denn mit Hilfe der „falschen

Urtheile“ kann man eben auch Hell in Dunkel, Weiß in Schwarz verkehren. Dagegen aber läßt sich glücklicherweise der Versuch so anordnen, daß er gestattet, das helle negative Nachbild ganz direct mit einem objectiv Hellen zu vergleichen und somit seine Lichtstärke gewissermaßen zu messen. Es ist dies eine Versuchsweise, die sich auf viele andere subjective Licht- und Farbenerscheinungen anwenden läßt, welche durch sogenannten successiven und simultanen Contrast entstehen, eine Versuchsweise, welche wegen ihrer schlagenden Beweiskraft einem lange geführten Streite ein Ende machen wird. Daß dabei auch die Young'sche Farbentheorie ihr Ende findet, ist ein weiterer Vortheil der erwähnten Versuchsmethode.

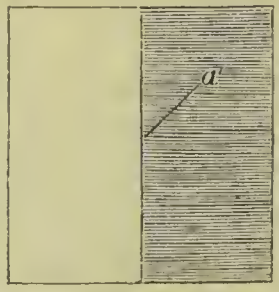
§. 6.

Vergleichung der subjectiven Helligkeit eines negativen Nachbildes mit einer objectiven Helligkeit.

Machen wir die eine, z. B. rechte Hälfte des Gesichtsfeldes sehr dunkel, die andere hell und lassen außerdem durch die helle linke Hälfte einen etwa 4 Mm. breiten, ebenfalls sehr dunklen Streifen quer hindurch gehen, so daß er rechtwinkelig auf die scharfe Grenzlinie beider Hälften des Gesichtsfeldes trifft, so erhalten wir ein Vorbild, wie es Fig. 1 sehr verkleinert darstellt. Der Punkt *a* wird nun binocular $^1/_4$—1 Minute lange fixirt und sodann werden die Augen geschlossen und verdeckt. Man sieht dann im Nachbilde die rechte Hälfte des Sehfeldes heller, die linke dunkler, beide getrennt durch eine scharfe Linie, in deren Nähe die Helligkeit der rechten Sehfeldhälfte wesentlich größer ist als im Übrigen, und zwar derart, daß diese Helligkeit in unmittelbarer Nähe der Grenzlinie am größten ist und allmälig in

Fig. 1.

Fig. 2.



eine schwächere, aber weiterhin gleichmäßige Helligkeit übergeht. Dieser hellste Theil der rechten Hälfte entspricht dem oben beschriebenen Lichthofe. Quer durch die linke, jetzt dunklere Hälfte des Sehfeldes zieht sich ferner das helle Nachbild vom dunklen Querstreifen des Vorbildes, und zwar ist dessen Helligkeit noch größer als die des eben erwähnten Grenztheiles der rechten Sehfeldhälfte. Letztere nämlich entspricht einem einfachen Lichthofe, während im Nachbilde des dunklen Querstreifens zwei Lichthöfe sich decken.

Um nun die subjective Helligkeit dieses Querstreifens mit einer objectiven Helligkeit zu vergleichen, bringe ich unmittelbar nach Schluß der Augen an die Stelle des Vorbildes (Fig. 1) ein Gesichtsfeld, dessen linke Hälfte tiefdunkel ist, während die rechte Hälfte eine sehr mäßige Helligkeit hat. Die Grenzlinie beider Hälften hat wieder genau dieselbe Lage wie im Vorbilde (siehe Fig. 2). Auf diesen Grund werfe ich nun mein Nachbild, indem ich einen Punkt a' fixire, welcher dem Punkte a des Vorbildes der Lage nach entspricht.

Die ganze linke Netzhauthälfte und denjenigen Theil der rechten, welcher dem dunklen Querstreifen des Vorbildes entspricht, traf während der Betrachtung des letzteren kein oder wenigstens nur äußerst schwaches Licht, daher diese Netzhauttheile ausruhen konnten; die rechte Netzhauthälfte aber, mit Ausnahme der, dem Querstreifen entsprechenden Stelle wurde beleuchtet und ermüdet. Blicken wir nun auf den Punkt a' des zweiten Gesichtsfeldes (Fig. 2), so wird jetzt die linke, also durch die vorhergehende Ruhe empfindlicher gewordene Netzhauthälfte von der Helligkeit der rechten Hälfte des Gesichtsfeldes getroffen, die rechte, ermüdete Netzhauthälfte aber bekommt gar kein oder nur äußerst schwaches Licht. Demnach müßte uns nach der Ermüdungstheorie die linke Sehfeldhälfte sehr dunkel erscheinen, denn das auf ihr erscheinende Licht wäre ja nur das in Folge der Ermüdung sehr schwache Eigenlicht der rechten Netzhauthälfte (wenn wir von dem äußerst schwachen objectiven Lichte absehen, welches diese Netzhauthälfte bei nicht ganz vollkommener Einrichtung des Versuches erhält). Eine Ausnahme macht die Stelle des Nachbildes vom Querstreifen, an welcher uns, da hier die Netzhaut ausruhen konnte, das ungeschwächte Eigen-

licht der Netzhaut erscheinen müßte. Die rechte Sehfeldhälfte aber müßte relativ sehr hell erscheinen, denn hier trifft objectives Licht die ausgeruhte Netzhauthälfte, und gegen dieses, unter den günstigsten Bedingungen empfundene objective Licht müßte nach der Ermüdungstheorie das doch immer schwache Eigenlicht, welches wir im Nachbilde des Querstreifens sehen, sehr matt erscheinen.

Vergleichen wir nun aber die subjective, nur durch das Eigenlicht bedingte Helligkeit des Querstreifennachbildes mit der objectiven Helligkeit der rechten Hälfte des Gesichtsfeldes, so finden wir die letztere bei irgend passenden Versuchsverhältnissen nicht nur nicht größer als die erstere, sondern das Nachbild des Querstreifens erscheint uns nahezu gleich hell, oder ebenso hell oder heller und im günstigsten Falle sogar viel heller als die rechte Gesichtsfeldhälfte, mit anderen Worten, das Eigenlicht der zuvor ermüdeten Netzhautstelle, welche dem Nachbilde des Querstreifens entspricht, ist im günstigen Falle heller als das objective, noch dazu von der durch vorhergegangene Ruhe empfindlich gemachten Netzhauthälfte empfundene Licht.

Um den günstigsten Fall, wo das subjective Licht des Nachbildes heller erscheint als das objective, leicht herbeizuführen, benützt man als rechte, helle Hälfte des Gesichtsfeldes (Fig. 2) einen großen Bogen weißen Papieres, als linke Hälfte z. B. ein großes Stück schwarzen Sammtes, und beleuchtet das Gesichtsfeld durch eine leicht zu regulirende Lichtquelle, z. B. eine Lampe mit stellbarem Dochte oder eine Gasflamme. Dreht man während der Fixation des Punktes a' den Docht langsam herab oder den Gashahn zu, so kommt man bald zu der Grenze, wo das Nachbild des Querstreifens auf dem schwarzen Sammte heller leuchtet als das weiße Papier.

Hat man nach Betrachtung des Vorbildes (Fig. 1) rasch das Gesichtsfeld in der beschriebenen Weise gewechselt, so erscheint zuweilen anfangs selbst bei passend abgeschwächter Beleuchtung die ganze rechte Hälfte des Gesichtsfeldes (aus später zu besprechenden Gründen) so hell, daß die noch größere Helligkeit des Nachbildes vom Querstreifen zunächst noch nicht auffällt. Bald aber läßt die Helligkeit der rechten Gesichtsfeldfläche nach, die des Streifennachbildes wird immer auffallender und übertrifft, wie

gesagt, die des weißen Papieres. Durch ein etwaiges vorübergehendes Verschwinden des ganzen oder einzelner Theile des Nachbildes wird sich der kundige Beobachter nicht irre machen lassen; für die Beweiskraft des Versuches ist es ohne Bedeutung.

Diese Beweiskraft aber ist eine schlagende; denn bisher hat, wie gesagt, die spiritualistische Physiologie immer behauptet, die große Helligkeit der negativen Nachbilder dunkler Objecte im geschlossenen Auge sei in Wirklichkeit gar nicht vorhanden, vielmehr sei sie eigentlich nicht größer als die Helligkeit des gewöhnlichen Lichtnebels oder Eigenlichtes der geschlossenen Augen. Unsere Vorstellung von der Helligkeit und vom Weißen sei eben relativ, und wenn das ganze Sehfeld in Folge der Ermüdung recht dunkel sei, so nehme man schon das an und für sich schwache Eigenlicht einer einzelnen nicht ermüdeten Netzhautstelle für etwas sehr Helles oder Weißes. Genau derselbe Erregungszustand der Netzhaut, genau dasselbe Eigenlicht, sollte uns das einemal den Eindruck des Dunklen, das anderemal den Eindruck des Hellen machen, je nachdem von den umgebenden Netzhauttheilen der Eindruck des Hellen oder Dunklen kam. Für die reine Empfindung des Hell und Dunkel, des Schwarz und Weiß hatte man schon längst keinen Sinn mehr; diese Empfindungen dienten angeblich nur dazu, das geistige Spiel der „Vorstellungen“ vom Weißen und Schwarzen in Bewegung zu setzen. Dieselbe „Empfindung,“ die uns jetzt die „Vorstellung“ des Schwarzen erweckte, sollte im nächsten Augenblicke die des Weißen hervorrufen, je nachdem eben die spiritualistische Physiologie das eine oder das andere für ihre Erklärungen nöthig hatte.

Unser Versuch macht nun die Probe auf's Exempel. Auf der einen Seite haben wir das reine Eigenlicht des Streifennachbildes, auf der andern die Empfindung, welche uns ein objectiv Helles auf einer, noch dazu durch vorhergehende Ruhe empfindlicher gewordenen Netzhauthälfte macht, wir können die nur subjectiv erhellten Theile des Sehfeldes mit den zugleich objectiv erhellten direct vergleichen, und nun zeigt sich unwiderleglich, daß Jene im Rechte waren, welche an der Überzeugung festhielten, daß das Weiße oder Lichte, welches man im geschlossenen Auge sieht, so gut ein Weißes oder Lichtes ist als dasjenige, welches man offenen Auges wahrnimmt.

§. 7.
Schlußfolgerungen.

Der im vorigen Paragraph besprochene Versuch läßt sich natürlich vielfach variiren; es kommt eben nur darauf an, den Gedanken einer directen Vergleichung des subjectiven Lichtes mit dem objectiven zur Durchführung zu bringen. Hätte ich vom Leser voraussetzen dürfen, daß er von vornherein mit mir der Annahme geneigt sei, eine lebhafte subjective Lichtempfindung, wie sie bei den bisher beschriebenen Versuchen beobachtet wird, könne nicht lediglich aus falschen Urtheilen entstehen, sondern müsse ihren physiologischen Grund im Sehorgane selbst haben, so hätte ich freilich meine Darlegung ganz anders beginnen können. Bei der großen Verbreitung aber, welche gegenwärtig die spiritualistische Theorie gewonnen hat, mußte ich zunächst solche Versuche herausgreifen, welche keinen Zweifel mehr dagegen aufkommen lassen, daß die besprochenen subjectiven Lichterscheinungen aus den Eigenschaften unseres Sehorganes und nicht aus dem Übersinnlichen zu erklären sind. Ehe ich aber diese Erklärung versuche und eine Theorie der gesammten Lichtempfindung entwickele, ist noch eine große Reihe anderweiter Thatsachen zu besprechen. Für diesmal will ich mich darauf beschränken, aus den bisher angeführten Versuchen ein allgemeineres Gesetz abzuleiten, auf welches sich die später zu erörternde Theorie mit zu gründen haben wird.

Wir sahen aus den drei obigen Versuchen, daß, wenn wir irgend ein Helles auf dunklem Grunde längere Zeit fixirt hatten, nachher im Sehfelde der geschlossenen und gedeckten Augen die Conturen des im Vorbilde Hellen uns wieder erschienen, aber jetzt eine relativ dunkle Fläche einschlossen und von einer Umgebung abgrenzten, deren Helligkeit in unmittelbarer Nähe des Nachbildes am größten war und sich dann allmälig abstufte, um in die wieder dunklere Grundfärbung des übrigen Sehfeldes überzugehen. Ich bezeichnete diese, unter Umständen sehr große Helligkeit der nächsten Umgebung des dunkleren Nachbildes als den Lichthof. Um mich an den Sprachgebrauch anzuschließen, welcher von inducirten Farben spricht, die ich später auch ausführlich zu erörtern haben werde, will ich das Licht des Licht-

hofes um ein relativ dunkles negatives Nachbild als inducirtes Licht bezeichnen, und zwar als successiv inducirtes Licht, weil die gewöhnlich sogenannte Farbeninduction eine simultane ist. Wie man sich gewöhnt hat, von simultanem und successivem Contraste zu sprechen, so kann ich im Anschluß an diesen Gebrauch auch von simultaner und successiver Lichtinduction sprechen, um welch' letztere es sich hier allein handelt.

Die successive Lichtinduction findet an jeder Netzhautstelle statt, wo bei Betrachtung des Vorbildes Helles und Dunkles aneinander grenzten, und zwar induciren die im Vorbilde hellen Theile das Licht auf jene Theile des Sehfeldes, die im Vorbilde dunkel waren, so daß letztere nun im Nachbilde des geschlossenen Auges heller erscheinen.

Das successiv inducirte Licht ist am stärksten in unmittelbarer Nähe der im Vorbilde hell gewesenen Theile und nimmt mit der Entfernung von der Grenze allmälig ab (Lichthof). Die Stärke und Ausbreitung des inducirten Lichtes hängt ab von der Stärke des Lichtes der im Vorbilde hellen Theile, von der mehr oder minder großen Dunkelheit der dunkleren Theile des Vorbildes, von der Dauer der Betrachtung des Vorbildes, vom Orte der Netzhaut, auf welchem das Licht inducirt wurde, und endlich von dem jeweiligen Zustande der Netzhaut.

Die Gesetze, nach welchen diese Factoren die Stärke und Ausdehnung des successiv inducirten Lichtes bestimmen, sind mir erst zum Theile annähernd bekannt und sollen erst später genauer erörtert werden.

Ich habe im Obigen einige besonders einleuchtende Beispiele der successiven Lichtinduction gleichsam aus dem Zusammenhange verwandter Erscheinungen herausgerissen und einzeln beschrieben, um zunächst nur den Beweis zu führen, daß erstens ein Theil der Netzhaut den andern in seiner Thätigkeit bestimmt, und nicht jedes Netzhaut-Element ein von seinen Nachbarn unabhängiges Einzelwesen darstellt, eine Behauptung, welche wiederholt aufgestellt, aber nie zu allgemeiner Anerkennung gebracht worden ist; und um zweitens darzuthun, daß das sogenannte Eigenlicht der Netzhaut schon innerhalb streng physiologischer Grenzen eine bedeutende Intensität gewinnen kann.

Wenn ich dann in den nächsten Mittheilungen den simultanen und successiven Contrast zwischen Hell und Dunkel an einigen ebenfalls besonders einleuchtenden Beispielen erörtert haben werde, wird es möglich sein, die successive Lichtinduction aus allgemeinen Gesichtspunkten zu betrachten und sie dem physiologischen Verständnisse viel näher zu rücken. Die Wichtigkeit aber der hier besprochenen Thatsachen für die Lehre von den negativen Nachbildern im geschlossenen Auge dürfte schon jetzt einem Jeden ersichtlich sein; denn daß die Ermüdungstheorie unfähig ist, die letzteren erschöpfend zu erklären, ist durch das Obige bereits genügend erwiesen.

Absichtlich habe ich in dieser gewissermaßen vorläufigen Mittheilung keine Rücksicht auf diejenigen Ansichten genommen, welche der meinigen mehr oder minder verwandt sind, und werde dies auch in den folgenden Mittheilungen nur ausnahmsweise thun, vielmehr die Vergleichung meiner Versuche und meiner Theorie mit denen anderer Forscher bis dahin verschieben, wo ich erstere in ihren Grundzügen dargelegt haben werde.

Zweite Mittheilung.

Über simultanen Lichtcontrast.

(Vorgelegt in der Sitzung am 11. December 1873.)

§. 8.

Ein Beispiel für den Contrast zwischen Hell und Dunkel.

Um die Wirkung des simultanen Contrastes in recht schlagender Weise mit einfachen Mitteln sichtbar zu machen, halte man einen schmalen Streifen dunkelgrauen Papiers vor einen tiefdunklen Hintergrund und betrachte fest einen irgendwie markirten Punkt des Streifens.

Schiebt man sodann zwischen den Streifen und den dunklen Hintergrund ein großes Blatt weißen Papiers, so erscheint der Streifen auf dem nunmehr hellen Grunde viel dunkler als zuvor; entfernt man das weiße Papier wieder, so wird der Streifen sofort wieder heller. Der scheinbare Helligkeitswechsel des grauen Streifens ist hiebei höchst auffällig.

Wenn man fest zu fixiren versteht, so ist die Einmischung des successiven Contrastes bei dem Versuche ausgeschlossen. Kleine Schwankungen des Auges, welche sich durch ein plötzliches Dunkler- oder Hellerwerden der Ränder des grauen Streifens verrathen, beeinträchtigen das Wesentliche des Versuches nicht.

Den dunklen Untergrund kann man sich durch ein großes Stück schwarzen Sammtes herstellen; den Streifen schneidet man am besten von schwarz durchgefärbtem, nicht glänzendem Papier. Dasselbe ist im Vergleiche zum Schwarz des Sammtes dunkelgrau zu nennen. Das gewöhnlich als grau bezeichnete Papier ist für diesen Versuch, wie auch für die folgenden, bei weitem nicht so zweckmäßig, weil es zu hell ist.

Daß der Wechsel der Pupillenweite nicht die wesentliche Ursache der verschiedenen scheinbaren Helligkeit des Papierstreifens ist, läßt sich zeigen,

wenn man das eine Auge schließt, dicht an das andere einen kleinen Schirm mit einer Öffnung anbringt, die kleiner ist als die Pupille bei hellster Beleuchtung, und dann den Versuch wiederholt. Auch vor beide Augen zugleich kann man je einen solchen Schirm mit kleinem Loche anbringen; doch ist dies ziemlich umständlich.

§. 9.

Die beschriebene Contrastwirkung fordert eine physiologische Erklärung.

Die spiritualistische Theorie erklärt den Helligkeitswechsel des grauen Streifens bekanntlich aus einem falschen Urtheile. Die eigentliche Empfindung, welche durch das Netzhautbild des grauen Streifens erzeugt wird, soll ganz dieselbe sein, wenn der Streifen auf hellem, wie wenn er auf dunklem Grunde erscheint, aber unser Urtheil soll anders ausfallen, wenn wir einen hellen, als wenn wir einen dunklen Grund neben dem Streifen sehen, und dieses Urtheil soll die Vorstellung bestimmen, die wir uns von dem Grau des Streifens machen.

Es kommt vor, daß uns ein und derselbe Mensch groß erscheint, wenn wir ihn neben einem viel kleineren, und ein andermal klein, wenn wir ihn neben einem viel größeren sehen. Wir sind, wie man sagt, nicht im Stande, die Größe eines Menschen in der Erinnerung so festzuhalten, daß wir den späteren Eindruck mit dem früheren sicher vergleichen und die Gleichheit der Größe beider Eindrücke festzustellen vermöchten.

Helmholtz[1]) führt dieses Beispiel einer Contrastwirkung als ein Analogon für die Erscheinungen des Lichtcontrastes an. Ein und dasselbe Grau erscheint uns nach dieser Auffassung neben Weiß dunkler, neben Schwarz heller, weil wir den ersten Eindruck nicht genügend festzuhalten und seine Identität mit dem zweiten zu erkennen vermögen.

Diesem unvollkommenen Gedächtnisse aber läßt sich zu Hilfe kommen, wenn man den Wechsel des Grundes, auf welchem der graue Streifen erscheint, recht rasch vollzieht. Einige Augenblicke müßte man nach allen sonstigen Erfahrungen die Erinnerung an den ursprünglichen Eindruck doch festhalten können. Aber der Versuch lehrt das Gegentheil. Hat man den

[1]) Physiol. Optik. S. 393.

grauen Streifen anfangs auf weißem Grunde gesehen und zieht nun plötzlich das weiße Papier weg, so hellt sich ebenso plötzlich der Streifen auf, und schiebt man das weiße Papier rasch wieder vor, so verdunkelt sich der Streifen ganz plötzlich. Diese raschen Änderungen der Empfindung, dieses An- und Abschwellen der Helligkeit, welches als solches empfunden und nicht erst nachträglich erschlossen wird, spricht sehr gegen obige Erklärung. Gesetzt, man habe neben einen Menschen mittlerer Größe erst einen sehr kleinen gestellt und lasse nun plötzlich an die Stelle des letzteren einen sehr großen treten, so müßte man den Menschen von mittlerer Größe im strengsten Sinne des Wortes urplötzlich zusammenschrumpfen sehen, wenn der oben gebrauchte Vergleich wirklich ganz zutreffend sein sollte.

Die Unzulässigkeit einer Erklärung unseres Versuchs aus der Unmöglichkeit einer sicheren Vergleichung des früheren Eindruckes mit dem späteren wird endlich ganz zweifellos, wenn wir den Versuch so abändern, daß die beiden Phasen desselben nicht nacheinander, sondern nebeneinander erscheinen.

Zu diesem Zwecke schneide man sich aus dem grauen (unvollkommen schwarzen) Papiere zwei lange, etwa 4 Mm. breite Streifen, welche jedoch an beiden Enden noch durch ein queres Stück so zusammenhängen, daß der Abstand beider Streifen etwa 12 Mm. beträgt. Diesen Doppelstreifen lege man auf den tiefschwarzen Grund, befestige ihn an beiden Enden und markire auf dem Grunde einen Punkt, der genau in der Mitte zwischen beiden Streifen liegt. Während man nun diesen Punkt fest fixirt, schiebe man ein weißes Blatt, dessen Rand immer parallel zu den Streifen gehalten wird, an letzteren heran und unter dem einen Streifen hindurch bis dicht an den Fixationspunkt.

Wenn man in der Nähe der beiden Befestigungspunkte je ein Stückchen Pappe unter die Streifen schiebt, oder die Enden der Streifen von vornherein auf Pappstückchen klebt, so liegen die Streifen dem Grunde nicht mehr dicht an, und es läßt sich leicht ein Papier unter dieselben schieben.

In dem Augenblicke, wo das weiße Papier unter dem einen Streifen erscheint, verdunkelt sich dieser plötzlich, und man kann nun seine Helligkeit mit der des anderen nach wie vor auf dunklem Grunde erscheinenden direct vergleichen, immer natürlich

ohne Verrückung des Fixationspunktes. Die Differenz in der Helligkeit der beiden Streifen ist hier fast ebenso auffallend, wie der Helligkeitswechsel des einen Streifens beim vorigen Versuche, und eine wesentliche Einwirkung des successiven Contrastes ist bei einiger Übung im Fixiren ebenfalls ausgeschlossen.

Demgemäß wird man jetzt nach einer anderen psychologischen Erklärung greifen und sagen müssen, daß die beiden Streifen verschieden erscheinen, weil die scheinbare Helligkeit jedes Streifens nach der Helligkeit des ihn umgebenden Grundes beurtheilt werde, nicht aber nach der des entfernter liegenden anderen Streifens. Die hieraus resultirenden falschen Vorstellungen seien zu zwingend, als daß die wirkliche Gleichheit beider Streifen zur Wahrnehmung kommen könne, obgleich jetzt eine directe Vergleichung ihrer beiderseitigen Helligkeit möglich ist.

Diese Erklärung setzt voraus, daß die Vergleichung der Helligkeiten zweier Netzhautbilder um so unsicherer wird, je weiter dieselben auf der Netzhaut von einander entfernt sind. Offenbar hat diese Annahme schon einen stark physiologischen Beigeschmack, denn sie macht das Vergleichungsvermögen des menschlichen Geistes wenigstens mit abhängig von der relativen Lage des zu Vergleichenden auf der Netzhaut. Daß aber gleichwohl auch diese Erklärung unzulässig ist, lehrt der folgende Paragraph. Der darin beschriebene Versuch fußt auf der Überlegung, daß, wenn die beiden, den grauen Streifen entsprechenden Netzhautstellen trotz der gleichen objectiven Helligkeit der Streifen verschieden erregt sind, sie sich auch in Betreff der Nachwirkung dieser verschiedenen Erregung, d. h. im Nachbilde verschieden verhalten müssen. Sehen wir nun, was dieses Nachbild lehrt.

§. 10.

Vom Nachbilde einer Contrastempfindung.

Man schneide sich zwei 3—4 Cm. lange und $^1/_2$ Cm. breite Streifen von dunkelgrauem (unvollkommen schwarzem) nicht glänzendem Papier und lege dieselben auf einen zur Hälfte weißen, zur anderen Hälfte tiefschwarzen Untergrund derart, daß auf jeder Seite der Grenzlinie ein Streifen und zwar parallel

der letztern und mindestens 1 Cm. von ihr entfernt zu liegen kommt.

Dann fixire man einen auf der Grenzlinie und zwischen den Streifen gelegenen markirten Punkt $^1/_2$ bis 1 Minute lang. Man bemerkt hierbei zuerst, daß der eine Streifen viel heller erscheint wie der andere, und daß ferner diese auffallende Helligkeitsdifferenz allmälig wieder abnimmt, eine Erscheinung, die erst später besprochen werden kann. Schließt und verdeckt man sodann die Augen, so bemerkt man entweder sofort oder doch sehr bald das negative Nachbild. Die im Vorbilde helle Hälfte des Grundes erscheint jetzt als die dunklere, die im Vorbilde dunkle als die hellere, und zu beiden Seiten der Grenzlinie erscheinen die Nachbilder der beiden Streifen.

An den letzteren fällt nun sogleich auf, daß sie eine sehr verschiedene Helligkeit zeigen, trotzdem daß die Streifen des Vorbildes objectiv gleich hell waren. Der früher heller erscheinende Streifen ist im Nachbilde der dunklere und umgekehrt, und zwar ist die Helligkeitsdifferenz der Streifen im Nachbilde im Allgemeinen viel größer, als sie im Vorbilde erschien.

Die psychologische Erklärung dieser verschiedenen Helligkeit der beiden Streifennachbilder müßte ganz analog derjenigen sein, welche oben von der verschiedenen scheinbaren Helligkeit der Streifen im Vorbilde gegeben wurde. Hienach würde sich die Erscheinung daraus erklären, daß die beiden an sich gleich hellen Streifennachbilder deshalb verschieden erscheinen, weil sie auf ungleichem Grunde liegen, der eine auf der zuvor ermüdeten und deshalb nun dunkler, der andere auf der nicht ermüdeten und deshalb heller empfindenden Netzhauthälfte.

Unverträglich hiermit erscheint zunächst die Thatsache, daß die Helligkeitsdifferenz der beiden Streifen im Nachbilde größer ist als im Vorbilde. Denn ihre verschiedene Helligkeit soll ja hier wie dort nur resultiren aus der verschiedenen Helligkeit beider Hälften des Grundes; je größer letztere Verschiedenheit, desto größer muß nach der psychologischen Erklärung auch die der Nachbilder sein und umgekehrt. Wenn also die Helligkeitsdifferenz der Streifen im Nachbilde größer ist, als im Vorbilde, so müßte auch die Helligkeitsdifferenz der Grundhälften

gleichzeitig immer größer erscheinen. Letzteres aber ist nicht der Fall. Überhaupt zeigt sich, sobald man nur darauf achtet, daß im Nachbilde die Helligkeits-Differenz der Streifen gar nicht immer gleichzeitig mit der Helligkeitsdifferenz der Grundhälften wächst und abnimmt, sondern man erkennt sofort, daß eine gewisse gegenseitige Unabhängigkeit beider Helligkeitsdifferenzen besteht. Bekanntlich verklingen die negativen Nachbilder allmälig, tauchen wieder auf, verschwinden wieder u. s. f. Diese verschiedenen Phasen laufen aber nicht in allen Theilen eines zusammengesetzten Nachbildes gleichzeitig ab, sondern ein Theil verblaßt eher und erscheint zu anderer Zeit wieder als der andere, und zwar erfolgt dies alles nicht regellos, sondern, wie später gezeigt werden wird, nach ganz bestimmten Gesetzen. So verhält es sich nun auch bei unserem Nachbilde, und man erkennt hiebei, daß die Grundvoraussetzung der oben gegebenen psychologischen Erklärung gar nicht erfüllt ist, weil die Zu- und Abnahme der Helligkeitsdifferenz der Streifen im Nachbilde gar nicht derjenigen der Grundhälften parallel geht, sondern bald langsamer oder schneller als diese, bald sogar in entgegengesetzter Richtung verläuft.

Daher läßt sich sogar bei jedem Versuche wiederholt beobachten, daß die Helligkeitsdifferenz der Streifen im Nachbilde eine zeitlang größer ist als die der Grundhälften, daß also das hellere Streifennachbild noch heller erscheint als die helle Hälfte des Grundes, das dunkle noch dunkler als die dunkle Grundhälfte. Dies läßt sich in keiner Weise als eine Contrasterscheinung im psychologischen Sinne auffassen. Wie paradox eine solche Auffassung wäre, wird recht anschaulich, wenn man wieder auf das oben erwähnte Beispiel einer Contrastwirkung zurückgreift. Man denke sich zwei ganz gleich große Menschen (die beiden angeblich gleichen Erregungszustände oder Empfindungen der Streifen im Nachbilde) und zwar nicht weit von einander stehend; ferner neben dem einen noch einen oder mehrere Riesen (die Helligkeit der helleren Grundhälfte), neben dem anderen noch einen oder mehrere Zwerge (die Dunkelheit der dunkleren Grundhälfte). Unter solchen Umständen wäre es zwar denkbar, daß der zwischen

den Riesen stehende mittlere Mensch etwas kleiner erschiene als der gleich große bei den Zwergen stehende; undenkbar aber ist es, daß dieser scheinbare Größenunterschied der beiden gleich großen mittleren Menschen größer werden könne, als der wirkliche Größenunterschied zwischen den Riesen und Zwergen selbst, und daß also der neben den Zwergen stehende mittlere Mensch im Contraste zu diesen noch größer erscheinen könne als die nicht weit davon befindlichen Riesen, und der neben letzteren stehende mittlere Mensch noch kleiner als die Zwerge. Vom Standpunkte der psychologischen Theorie ist es durchaus gestattet, diese Parallele zwischen Größencontrasten und Helligkeitscontrasten zu ziehen, denn jene Theorie erklärt ja beide aus demselben psychologischen Gesetze.

Vollends aber wird der psychologischen Erklärung aller Boden durch folgende Thatsache entzogen.

Wenn die Lebhaftigkeit des Nachbildes schon etwas nachgelassen hat, tritt ein- oder mehrmal eine Phase desselben ein, bei welcher die Helligkeitsdifferenz der Grundhälften ganz verschwindet, doch aber die beiden Streifennachbilder ganz deutlich erscheinen, und zwar das eine heller und das andere dunkler als der rechts und links gleichhelle Grund. Hier kann also von Contrastwirkung überhaupt nicht mehr die Rede sein, weil die conditio sine qua non derselben, nämlich die verschiedene Helligkeit des Grundes gar nicht mehr vorhanden ist.

Dies beweist nun, daß die verschiedene Helligkeit der Streifennachbilder ihren Grund in einem verschiedenen Erregungszustande der entsprechenden Netzhautstellen haben muß, und hieraus folgt wieder, daß diese beiden Netzhautstellen auch während der Betrachtung des Vorbildes verschieden erregt wurden; denn die verschiedene Nachwirkung fordert hier auch eine verschiedene Vorwirkung, und es wäre durchaus nicht einzusehen, warum die beiden Netzhautstellen, wenn sie durch das Vorbild ganz gleich erregt worden wären, im Nachbilde eine so verschiedene Erregung und zwar in ganz gesetzmäßiger Weise zeigen sollten. Somit kommen wir schließlich zu dem Ergebniß, daß im Vorbilde die objectiv gleichen Streifen deshalb verschieden hell erscheinen, weil die beiden

entsprechenden Netzhautstellen[1]) sich wirklich in verschiedener Erregung befinden.

Es ist bemerkenswerth, daß bei dem beschriebenen Nachbildversuche die etwaige Ungeübtheit des Beobachters im Fixiren die wesentlichen Erscheinungen beeinträchtigen, nicht aber sie begünstigen oder gar selbst hervorrufen könnte. Gesetzten Falls nämlich, der Blick schwankte bei Betrachtung des Vorbildes erheblich hin und her, so würde die Netzhautstelle, welche nur durch das Licht des grauen Streifens auf weißem Grunde gereizt werden soll, zugleich Licht von den anstoßenden Theilen dieses weißen Grundes empfangen und also stärker „ermüdet" werden, als dies bei strenger Fixation der Fall wäre. Umgekehrt würde die Netzhautstelle, welche das Bild des anderen Streifens trägt, weniger ermüdet werden, als bei strenger Fixation. Da nun nach der Ermüdungstheorie stärker ermüdete Netzhautstellen im geschlossenen Auge dunkler erscheinen als minder ermüdete, so müßte das Nachbild des auf hellem Grunde liegenden Streifens als das dunklere erscheinen, während doch das Gegentheil der Fall ist. Dieser Umstand macht den beschriebenen Versuch besonders werthvoll und beweisend, und muß den Anfänger, der etwa das oben Angegebene nicht gleich bestätigen könnte, zu dem Bedenken veranlassen, ob er nicht durch schlechtes Fixiren den Erfolg des Versuches selbst vereitelt hat.

Was den Einwand betrifft, daß derlei Versuche in ihren Resultaten viel zu wechselnd und unsicher seien, um große Beweiskraft zu haben, so muß er ganz entschieden zurückgewiesen werden, denn ich habe alle hier beschriebenen Versuche nicht blos selbst angestellt, sondern auch von verschiedenen Laien wiederholen lassen. Der Geübte sieht freilich mehr als der Anfänger, aber die Hauptsachen sieht auch der Anfänger sogleich, wenn er nur einigermaßen zu beobachten versteht. Unsicherheit und Zufälligkeit der auf die oben beschriebene Weise erzeugten Nachbilder kann auch nicht zugegeben werden, denn dieselben folgen ganz strengen Gesetzen, und wenn man einmal das Zufällige auszuscheiden gelernt hat, so kann man jeden intelligenten Laien solche Versuche anstellen lassen. Wenn manche Ophthalmologen behaupten, sie erhielten nie deutliche Nachbilder, so beweist dies nur, daß sie sich solche nie methodisch erzeugt haben. Als es sich noch nicht von selbst verstand, daß jeder Anatom oder Physiologe unter dem Mikroskop zu beobachten verstehen müsse, wurde auch häufig von denen, die selbst nicht mikroskopiren konnten, gegen die Resultate der mikroskopischen Forschungen eingewandt, dieselben seien zu unsicher und durch zu viele Fehlerquellen getrübt, als daß man ihnen Zutrauen schenken dürfe.

Sollte Jemand bei dem oben beschriebenen Versuche nicht sogleich alles das sehen, was ich beschrieben habe, so wird er doch sogleich Einiges davon sehen und dann sehr bald auch das Übrige, wenn er sich nur die Mühe nimmt, den Versuch öfter, bei verschiedenen Beleuchtungen und mit grauem Papiere von verschiedenen Helligkeiten anzustellen. Den zu diesen Versuchen nöthigen Sinn für Hell und Dunkel hat Jeder, der nicht augenkrank ist. Wo freilich der Farbensinn in's Spiel kommt, trifft man größere individuelle Verschiedenheiten.

---

[1]) Vergl. meine Anmerkung zu §. 3. S. 8.

Die oben beschriebenen einfachen Versuche gestatten die mannigfachsten Abänderungen. Ich habe eine Form für dieselben gesucht, in welcher sie Jeder mit möglichst einfachen Mitteln sofort anstellen kann. Die Wenigen, welche gegenwärtig der spiritualistischen Theorie des Contrastes nicht beipflichten, werden vielleicht meinen, daß es viele andere Versuche gebe, welche jene Theorien ebenso zwingend widerlegen. Ich muß aber bemerken, daß alle mir bisher bekannt gewordenen Versuche oder vielmehr die Beschreibungen derselben, sich doch, wenn auch oft gezwungener Weise, irgend einer von jenen psychologischen Erklärungen unterwerfen lassen, welche die Spiritualisten so erfinderisch entwickelt haben. Ich lege deshalb Gewicht darauf, die Versuche so eingerichtet zu haben, daß sie die psychologische Erklärung geradezu ad absurdum führen, d. h. daß die Bedingung, von welcher nach der psychologischen Erklärung die Contrastwirkung abhängen soll, in diesem Falle gar nicht gegeben ist, während doch die Wirkung selbst deutlich hervortritt.

§. 11.

Der simultane Contrast beruht darauf, daß die Lichtempfindung einer Netzhautstelle nicht blos von der Beleuchtung der letzteren, sondern auch von der Beleuchtung der übrigen Netzhaut abhängt.

Der vorige Paragraph hat bewiesen, daß die Netzhautstelle, welche vom Lichte des auf weißem Grunde gelegenen grauen Streifens beleuchtet wurde, anders empfand, als die vom gleich hellen Lichte des Streifens auf schwarzem Grunde beleuchtete. Diese Verschiedenheit der Empfindung bei gleichem Reize konnte, wie gezeigt wurde, nur darauf beruhen, daß die Erregung der fraglichen Netzhautstelle nicht blos von ihrer eigenen Beleuchtung, sondern zugleich von der Beleuchtung der umgebenden Netzhaut abhing. Die heutige Physiologie ist gewöhnt, die verschiedene Stärke der Reaction, welche auf gleich starke Reizung eines Organes erfolgen kann, aus einer verschiedenen Erregbarkeit des letzteren zu erklären. Im Anschluß an diese Auffassung könnte man auch sagen, daß die Contrastwirkung darauf beruhe, daß die Erregbarkeit und demnach mittelbar auch die

Erregung einer Netzhautstelle eine Function der gleichzeitigen Beleuchtung der übrigen Netzhaut oder wenigstens der Nachbarstellen sei. Hienach würde uns der graue Streifen auf weißem Grunde deshalb dunkler erscheinen, als auf schwarzem Grunde, weil die Erregbarkeit der entsprechenden Netzhautstelle durch gleichzeitige starke Beleuchtung ihrer Umgebung herabgesetzt wird.

Eine eigentliche Erklärung ist damit zwar nicht gegeben, aber die Ursache der Contrastwirkung wird durch diese Auffassung wenigstens auf physiologischen Boden verlegt und mit anderen Thatsachen der Physiologie in Analogie gebracht.

Dem entsprechend drückte J. K. Becker[1]) das Gesetz der Contrastwirkung folgendermaßen aus: „Irgend ein Theil der Netzhaut ist für neue Lichteindrücke empfänglicher, wenn die Umgebung nur schwache Lichteindrücke empfängt, als wenn sie stärkere empfangen würde.“ Mach hingegen nimmt nicht eine Hemmung der Erregbarkeit an, sondern eine Hemmung des Abflusses der Erregung in's Sensorium. Er sagt nämlich[2]): „Es ist nicht unwahrscheinlich, daß von der Erregung einer Netzhautstelle desto mehr oder weniger in das Sensorium abfließen könne, je weniger, beziehungsweise mehr, die ganze Netzhaut erregt ist.“

„Die Erregungen zweier Stellen versperren sich sozusagen gegenseitig den Abfluß in's Sensorium.“

Das Wesentliche dieser Bemerkungen Becker's und Mach's scheint mir jedoch lediglich darin zu liegen, daß sie nach einer physiologischen Erklärung suchen. Im Übrigen kann ich weder der einen noch der andern Auffassung ganz beipflichten.

§. 12.

Der simultane Contrast als negative Lichtinduction.

Erinnern wir uns desjenigen, was ich in meiner ersten Mittheilung über die successive Lichtinduction vorgebracht habe, so ergibt sich eine interessante Beziehung zwischen dieser und dem simultanen Contraste.

---

[1]) Poggendorff, Annal. d. Physik. Ergänzungsbd. V. S. 305.

[2]) Mach, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. 57. Bd. 1868. S. 11.

Auch die Erscheinungen der successiven Lichtinduction lehrten uns, daß die Empfindung einer Netzhautstelle nicht blos von ihrer eigenen Beleuchtung, sondern auch von der Beleuchtung ihrer Nachbarn abhängt. Es verrieth sich dies bei der successiven Lichtinduction dadurch, daß eine gar nicht oder nur äußerst schwach beleuchtete Netzhautstelle, deren Umgebung stark beleuchtet wurde, im negativen Nachbilde eine viel stärkere Helligkeit zeigte, als eine solche, deren Nachbarn zuvor nicht beleuchtet wurden. Die Contrasterscheinungen haben uns umgekehrt gelehrt, daß die Helligkeitsempfindung einer schwach beleuchteten Netzhautstelle herabgemindert wird, wenn ihre Umgebung stärker beleuchtet wird.

Der Herabsetzung der Helligkeitsempfindung oder „Erregung“ während der Betrachtung des Vorbildes entspricht nun die Steigerung der Helligkeitsempfindung oder Erregung im Nachbilde, und die successive Lichtinduction erscheint somit als Gegensatz der simultanen Contrastwirkung, als die in ihr Gegentheil umgeschlagene Wirkung des Simultancontrastes. Umgekehrt könnte man die simultane Contrastwirkung als simultane negative Lichtinduction bezeichnen.

Hienach liegt es auch sehr nahe, einen innigen causalen Zusammenhang zwischen beiden Erscheinungen anzunehmen und die während der Dauer des Contrastes stattfindende Herabminderung der Helligkeitsempfindung (Erregung oder Erregbarkeit) geradezu als die Ursache der nachher eintretenden Steigerung anzusehen.

Durch den von mir früher gegebenen Nachweis, daß die successive Lichtinduction einen physiologischen Grund haben muß, erlangt nun auch die Forderung einer physiologischen Erklärung des simultanen Contrastes noch größere Berechtigung, denn man könnte aus den Thatsachen der successiven Lichtinduction, wenn man dieselbe als physiologisch begründet ansieht, die Erscheinungen des simultanen Contrastes a priori ableiten.

§. 13.

Die simultane Contrastwirkung nimmt ab mit dem gegenseitigen Abstande der contrastirenden Netzhautstellen.

Die Untersuchung der successiven Lichtinduction lehrte, daß die Helligkeit des inducirten Lichtes abnahm mit der Entfernung von derjenigen Stelle, von welcher aus das Licht inducirt wurde. Bei der Beziehung, welche wir soeben zwischen successiver Lichtinduction und simultanem Contraste gefunden haben, können wir nun schließen, daß auch die Contrastwirkung oder negative Lichtinduction abnehmen werde mit der Entfernung von derjenigen Netzhautstelle, von welcher aus das negative Licht oder die Verdunklung inducirt wird. Zum Beweise dafür, daß es sich wirklich so verhält, will ich einen einzigen, leicht zu improvisirenden Versuch anführen; denn der Satz selbst wird weder von den Spiritualisten noch von den Vertretern der physiologischen Hypothese bestritten, und mancherlei Beweise für denselben sind von verschiedenen Seiten bereits beigebracht worden.

Man lege zwei 4 Cm. lange und $^1/_2$ Cm. breite Streifen dunkelgrauen Papiers auf einen tiefdunklen Grund parallel nebeneinander bei einem gegenseitigen Abstande von etwa 1 Cm. In der Mitte und auf mittlerer Höhe zwischen beiden Streifen mache man auf dem Grunde eine Marke. Nachdem man dann seine Augen einige Zeit geschlossen gehalten hat, fixire man diese Marke und schiebe ein großes weißes Blatt von der Seite bis dicht an den einen Streifen heran. Man wird bemerken, daß dieser Streifen fortan deutlich dunkler erscheint, als der andere. Zur Controle schiebe man dann das weiße Blatt von der anderen Seite her an den anderen Streifen, und sofort wird dieser als der dunklere erscheinen. Ob man gleichzeitig mit der Verdunklung des einen Streifens auch eine Veränderung des andern bemerkt oder nicht, ist hier vorerst gleichgiltig; denn der Versuch beweist jedenfalls, besonders wenn man ihn etwas variirt, daß die Contrastwirkung in der Nähe stärker ist, als bei größerem Abstande.

Wenn man sich übrigens in der Beobachtung kleinerer Helligkeitsunterschiede einigermaßen geübt hat oder auch nur

auf die Erscheinungen des simultanen Contrastes zu achten anfängt, so findet man allenthalben Bestätigungen des erwähnten Satzes. Man lege z. B. ein kleines weißes Papierschnitzel auf einen tiefschwarzen Grund und fixire, nachdem man seine Netzhäute etwas ruhen gelassen hat, einen Punkt des Schnitzels; dann sieht man ganz deutlich, daß der Grund in unmittelbarer Nähe des Schnitzels deutlich schwärzer erscheint als die übrige Fläche. Dieses tiefere Schwarz erstreckt sich viel weiter als das bei einiger Übung sehr kleine Gebiet, innerhalb dessen das Bild des Schnitzels sich wegen der kleinen Schwankungen der Augen verschiebt, so daß das tiefere Schwarz der Umgebung sich nicht aus dem successiven Contraste erklären läßt. Doch darf man, besonders bei starker Beleuchtung, die Betrachtung nicht zu lange fortsetzen, weil sich dann die Erscheinungen der simultanen positiven Lichtinduction einmischen, welche erst später zu besprechen sein werden.

Der hier nachgewiesene Parallelismus zwischen der simultanen Contrastwirkung und der successiven Lichtinduction läßt sich übrigens noch anderweit nachweisen, doch kann dies erst später erörtert werden.

§. 14.

Schlußbemerkungen.

Es ist von besonderem Interesse, daß wir in der Beobachtung der successiven Lichtinduction ein neues Mittel gefunden haben, um den simultanen Contrast zu untersuchen, wenn auch nur in seinen Nachwirkungen. Diese Nachwirkungen, da sie in gesetzmäßiger Beziehung stehen zu ihren Vorwirkungen, nämlich den Contrastwirkungen, lassen uns allerlei Schlüsse auf die letzteren machen. Dies ist besonders deshalb von Wichtigkeit, weil die Nachbilder des geschlossenen Auges eine in vielen Beziehungen reinere, von Nebenumständen weniger beeinflußte Beobachtung gestatten, als die Bilder des offenen Auges. Im Nachbilde eines Papierstreifens z. B. sehe ich nicht das Korn des Papiers, nicht seine kleinen Knickungen oder Biegungen, nicht Staubkörner oder Fasern, mit einem Worte, ich sehe nicht ein Papier, welches sich von seinem Grunde abhebt, sondern nur

ein Stück Sehfeld, welches anders leuchtet als seine Umgebung.

Alle die rein mechanisch erfolgenden Associationen, welche durch die eben angeführten Nebenumstände ausgelöst werden, fallen im Nachbilde weg; die Helligkeit und Färbung des Streifens fesselt allein meine Aufmerksamkeit. Ähnlich wie die Nachbilder verhalten sich in dieser Beziehung die rotirenden Scheiben, weil sie viel homogenere Lichtflächen geben, als andere Objecte. Deshalb lassen sich auch, wie bekannt, Beobachtungen über Helligkeitsunterschiede und Contraste an solchen Scheiben viel besser anstellen, als mit den oben beschriebenen Methoden. Gleichwohl habe ich es vorgezogen, zunächst nur solche Versuche vorzuführen, welche Jeder ohne besondere Apparate anstellen kann. Wer die Erscheinungen des simultanen Contrastes an rotirenden Scheiben oder Cylindern untersuchen will, findet hiezu in Mach's Abhandlungen „über die Wirkung der räumlichen Vertheilung des Lichtreizes auf die Netzhaut“ [1]) die beste Anleitung.

Die von ihm angestellten Versuche, welche sich (stofflich, wenn auch nicht intellectuell) an einen von Helmholtz[2]) angegebenen Versuch anschließen, sind, soviel ich sehe, das Beste und Exacteste, was bisher auf diesem Gebiete geleistet wurde, und ich werde später vielfach darauf zurückzukommen haben. Mach fordert, wie ich schon oben erwähnte, für die von ihm aufgestellten Gesetze der Contrastwirkungen ebenfalls eine physiologische Erklärung, ich glaube aber nicht, daß in dem von Mach beigebrachten interessanten Versuchsmaterial, aus welchem er jene Gesetze abstrahirt, für die Spiritualisten eine zwingende Veranlassung liegen wird, ihre Theorie aufzugeben; denn die Gesetze Mach's sagen im Grunde auch nichts anderes aus, als was die spiritualistische Theorie ebenfalls annimmt, wenn auch nicht auf Grund einer so exacten Untersuchung, nämlich: daß Helles und Dunkles oder Helleres und minder Helles sich gegenseitig heben und zwar umsomehr, je größer ihr Helligkeitsunterschied ist und je näher sie einander sind. Wenn sich dies,

---

[1]) Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. 52—57. Bd.

[2]) Physiologische Optik, S. 413.

wie die Spiritualisten meinen, sozusagen von selbst versteht, weil es als eine Eigenthümlichkeit des menschlichen Geistes keiner weiteren Erklärung bedarf, oder keiner solchen zugänglich ist, so sind eben auch alle Beobachtungen Mach's damit erklärt, denn sie lassen sich sämmtlich a priori aus obigem Satze ableiten.

Ebensowenig glaube ich, daß die oben beschriebenen Versuche, obwohl ich ihnen zwingende Beweiskraft zuerkenne, hinreichen werden, um eine so weit verbreitete und tief eingewurzelte Theorie zu verdrängen. Dies kann nicht durch einzelne Gegenversuche, sondern nur durch eine andere Theorie geschehen, welche nicht blos die simultanen Contrastwirkungen, sondern das ganze große Gebiet der Lichtempfindung umfaßt und dadurch, daß sie alle wesentlichen Thatsachen dieses Gebietes unter einen und zwar physiologischen Gesichtspunkt bringt, den Beweis liefert, daß sie der Wahrheit näher liegt, als die jetzige Theorie der Gesichtsempfindungen, welche aus physiologischen Hypothesen und spiritualistischen Erklärungen zusammengewürfelt ist.

Dritte Mittheilung.

Über simultane Lichtinduction und über successiven Contrast.

(Vorgelegt in der Sitzung am 18. December 1873.)

Über simultane Lichtinduction.

§. 15.

Beschreibung eines Falles von simultaner Lichtinduction.

Man stelle sich ein Gesichtsfeld her, welches zur Hälfte hellweiß, zur andern Hälfte tiefschwarz ist, also z. B. aus einem großen Bogen weißen Papiers und aus schwarzem Sammt besteht, und fixire anhaltend einen markirten Punkt der Grenzlinie beider. Je länger man hinblickt, desto deutlicher sieht man das ursprünglich tiefe Schwarz in Grau übergehen, während gleichzeitig eine Abnahme der Helligkeit des Weißen, doch minder deutlich, zu bemerken ist. Der Helligkeitszuwachs der schwarzen Fläche ist am größten in unmittelbarer Nähe der Grenzlinie und nimmt mit der Entfernung von dieser anfangs ziemlich rasch, im weiteren Verlaufe des Versuches aber langsamer ab und breitet sich schließlich immer deutlicher über die ganze schwarze Fläche aus.

Da es schwer ist, den Fixationspunkt längere Zeit ganz festzuhalten, so bemerkt man häufig ein plötzliches helles Aufleuchten des Randes der weißen Fläche oder man sieht umgekehrt am Rande der schwarzen Fläche plötzlich einen tiefdunklen Streifen; dies sind die bekannten Erscheinungen des successiven Contrastes. Sieht man am Rande der weißen Fläche den lichteren Saum, so erscheint die übrige weiße Fläche, besonders in nächster Nähe dieses Saumes, grauer als zuvor; sieht man den tiefschwarzen Saum an der schwarzen Hälfte, so erscheint die

übrige schwarze Fläche, und zwar besonders in unmittelbarer Nähe des Saumes noch heller.

An jedem Stückchen schwarzen Papiers, welches man auf eine helle, weiße Fläche legt, macht man ganz analoge Beobachtungen.

Da bei solchen Versuchen überall da, wo helle und dunkle Flächen zusammenstossen, bei lange dauernder Fixation die dunklen Theile sich mehr und mehr mit Licht überziehen, so will ich im Anschlusse an die gebräuchlichen Bezeichnungen diese Erscheinung als simultane Lichtinduction benennen.

§. 16.

Die simultane Lichtinduction läßt sich nicht als bloße Ermüdungserscheinung auffassen.

Die halb physiologische, halb psychologische Erklärung, welche die spiritualistische Theorie von der beschriebenen Erscheinung gibt, ist folgende:

Infolge der zunehmenden Ermüdung, welcher die vom Weißen beleuchtete Netzhauthälfte unterworfen ist, erscheint dieses Weiß zunehmend lichtschwächer oder grauer. Dem entsprechend wird die Contrastwirkung zwischen diesem Weiß und dem Schwarz immer schwächer, und nimmt letzteres scheinbar an Helligkeit zu. Dieser Schein wird noch dadurch begünstigt, daß es nicht möglich ist, ganz fest zu fixiren. Denn infolge der unwillkürlichen Blickschwankungen schiebt sich abwechselnd bald ein schmaler Streif des Weißen auf die Netzhauthälfte, die zuvor Schwarz sah und daher relativ ausgeruht ist, bald ein schmaler Streif des Schwarzen auf die zuvor durch das Weiß ermüdete Netzhauthälfte. Im ersten Falle sieht man den entsprechenden Streifen des Weißen wieder in der ursprünglichen Helligkeit, und dagegen erscheint das übrige Weiß im Contraste noch grauer; im andern Falle sieht man den Streifen des Schwarzen viel dunkler als das übrige Schwarz, weil es jetzt auf einen stark ermüdeten Netzhauttheil fällt, und im Contraste hierzu erscheint uns die übrige schwarze Fläche noch heller, am meisten in unmittelbarer Nähe des tief dunklen Saumes.

Diese Erklärung legt also ein besonderes Gewicht auf das, was ich nur als nebensächlich erwähnt habe, nämlich auf das

durch Blickschwankungen erzeugte Erscheinen eines hellweißen oder tiefschwarzen Saumes, und sie muß dies thun, weil sie nur hieraus erklären kann, warum das Schwarze gerade in unmittelbarer Nähe des Weißen am hellsten erscheint, obgleich man vermuthen sollte, daß es hier in Folge des Contrastes am allerdunkelsten erscheinen müßte.

Einem, der längere Zeit gut fixiren kann, wird in der That das zeitweilige Auftreten des tiefschwarzen oder hellweißen Saumes nur den Eindruck des Nebensächlichen machen, weil es eben eine immer rasch vorübergehende Erscheinung ist, während das oben als wesentlich Bezeichnete dauernd sichtbar ist. Ferner läßt sich durchaus nicht bestätigen, daß das Weiß des bisweilen auftretenden hellen Streifens nur so hell sein soll, wie anfangs die ganze weiße Fläche, vielmehr erscheint es viel heller; und andererseits sieht man den tiefschwarzen Saum, wenn er einmal auftritt, keineswegs dunkler als die schwarze Fläche im Anfange, sondern nur etwa ebenso schwarz. Aber auf das, was man wirklich sieht, kommt im Grunde genommen bei den spiritualistischen Erklärungen überhaupt nicht viel an, sondern auf das, was man unbewußt dabei denkt; und man wird also sagen, daß wir uns nur infolge eines falschen Urtheils den hellen Saum heller als das ursprüngliche Weiß, und den dunklen nur ebenso schwarz wie das ursprüngliche Schwarz vorstellen.

Ich will nun hier nicht weiter auf eine kritische Analyse der psychologischen Erklärung eingehen, weil der Leser das, was ich zu sagen hätte, schon aus meinen früheren Mittheilungen errathen kann, sondern ich will sogleich an die experimentelle Widerlegung jener Erklärung gehen.

Man klebe auf eine weiße, hellbeleuchtete und weit ausgebreitete Fläche einen etwa 1 Cm. breiten Streifen von mattschwarzem Papier oder Sammt und auf den Mittelpunkt des Streifens ein sehr kleines Schnitzel weißen Papiers, welches als Fixationspunkt zu dienen hat. Nachdem man diesen Punkt ½ bis 1 Minute lang fixirt hat, mindere man rasch die Beleuchtung (durch Herabdrehen des Lampendochtes, Zudrehen des Gashahnes oder Verkleinerung der Oeffnung, durch welche das Licht in's Dunkelzimmer fällt). Hierbei bemerkt man deutlich, wie der schwarze Streifen rasch heller, der weiße Grund rasch dunkler

wird, und sobald die Beleuchtung hinreichend gemindert ist, erscheint der schwarze Streifen heller als der weiße Grund.

Wenn man diese auffallende Erscheinung lediglich aus der Ermüdung erklären will, muß man annehmen, daß hier die Ermüdung durch das anfangs helle Weiß des Grundes so bedeutend geworden sei, daß nunmehr das lichtschwächer gemachte Weiß eine schwächere Lichtempfindung auslöst als der schwarze Streifen, welcher, besonders bei der abgeschwächten Beleuchtung, nur Licht von verschwindend kleiner Intensität aussendet; dies heißt also mit anderen Worten, daß die vorher von Weiß beleuchteten Netzhauttheile derart gelähmt sind, daß ein mäßiger Lichtreiz nicht einmal mehr im Stande ist, eine Empfindung auszulösen, welche der Empfindung des Eigenlichtes auf dem nicht ermüdeten Netzhauttheile gleichkommt.

Mit diesem unvermeidlichen Zugeständniß wäre wenigstens die Erkenntniß gewonnen, daß das Eigenlicht der Netzhaut unter passenden Umständen eine Helligkeit zeigt, welche größer ist, als die Helligkeit eines, von einer zuvor ermüdeten Netzhautstelle empfundenen schwachen objectiven Lichtes.

Zur Erläuterung dieses wichtigen Satzes will ich hier noch einen Versuch einschalten.

Man stelle sich ein Gesichtsfeld her, welches z. B. zur rechten Hälfte hellweiß, zur linken tiefschwarz ist und fixire einen hervorstechend markirten Punkt der Grenzlinie ½—1 Minute lang. Sodann lasse man rasch das Gesichtsfeld um 90° um den Fixationspunkt drehen, so daß nunmehr die weiße Hälfte nach unten zu liegen kommt. Sehr bald zeigt sich dann die Wirkung des successiven Contrastes: das linke untere Viertel des Gesichtsfeldes erscheint am hellsten, das rechte obere am dunkelsten oder vielmehr schwarz, die beiden andern sind heller als das letztere, dunkler als das erstere.

Gesetzten Falls nun, das rechte untere Viertel erschiene, wie das meistens der Fall ist, heller als das linke obere, so braucht man nur die Beleuchtung fortschreitend zu mindern, um sehr bald zu erreichen, daß das linke obere Viertel entschieden heller wird, als das rechte untere. Auf ersterem aber erscheint nur das Eigenlicht des nicht ermüdeten Netzhautviertels, auf dem rechten untern Viertel dagegen das schwache objective, aber von einem ermüdeten Netzhautviertel empfundene Licht. Jenes Eigenlicht erweist sich also stärker als das schwache objective Licht.

Auch hier, wie bei allen derartigen Versuchen, bemerkt man, daß die Erscheinung verschiedene Phasen durchmacht, und daß dasjenige, was

ich soeben beschrieben habe, nur in einer bestimmten, aber mehrmals wiederkehrenden Phase am deutlichsten ist.

Wir kommen jetzt zurück auf unsern Versuch mit dem schwarzen Streifen auf weißem Grunde. Derselbe erschien nach längerer Fixation heller als der weiße Grund, wenn wir die Beleuchtung bis zu einem gewissen Grade vermindert hatten. Um nun zu wissen, ob diese seine relativ große Helligkeit auf einer Lichtinduction beruht, oder, wie die psychologische Erklärung will, nur darauf, daß die übrige Netzhaut infolge großer Ermüdung das schwache weiße Licht noch schwächer empfindet, als der nicht ermüdete Netzhautstreifen die sogenannten inneren Reize[1]), müssen wir das Eigenlicht dieses Streifens vergleichen mit dem Eigenlichte einer andern, ebenfalls nicht ermüdeten Netzhautstelle, deren Nachbarschaft aber nicht stark beleuchtet und also einer etwaigen Lichtinduction weniger oder gar nicht ausgesetzt war.

Zu diesem Zwecke kann beispielsweise folgende Abänderung des Versuches dienen.

Wir kleben den 1 Cm. breiten, schwarzen Streifen auf einen größeren weißen Streifen, welcher ihn nach allen Seiten um etwa 2 Cm. überragt, und legen dann diesen weißen Streifen auf einen weit ausgebreiteten schwarzen Grund. Oder wir schneiden aus der Mitte eines 5 Cm. breiten und 7 Cm. langen weißen Streifens einen Streifen von 1 Cm. Höhe und 3 Cm. Länge aus und legen ersteren auf den schwarzen Grund. Beidenfalls markiren wir uns durch ein sehr kleines weißes Papierschnitzel die Mitte des schwarzen Streifens und fixiren dieselbe $^1/_2$—1 Minute lang. Dann mindern wir die Beleuchtung und kommen dadurch bald dahin, wo der schwarze Streifen heller erscheint als der schwarze Grund, obwohl beide objectiv gleich dunkel und die ihnen entsprechenden Netzhautstellen also, wie man sagt, gleich wenig ermüdet sind.

Die viel größere Helligkeit des schwarzen Streifens im Vergleich zu der des schwarzen Grundes tritt besonders schlagend hervor, wenn man zum Vergleiche nicht die Theile des

[1]) Beziehentlich außerdem das Minimum von objectivem Licht, welches von dem schwarzen Streifen bei so schwacher Beleuchtung ausgeht.

Grundes wählt, welche unmittelbar an das Weiße grenzen, denn diese Theile waren ja auch der simultanen Lichtinduction unterworfen, sondern die entfernteren Theile.

Da der Versuch ziemlich große Übung im festen Fixiren fordert, so wird Mancher durch das Aufblitzen der hellen Säume des Weißen gestört werden. Ein Solcher kann sich dann dadurch helfen, daß er die Beleuchtung auf Null herabsetzt oder die Augen ganz schließt. Denn im Grunde bleibt der Versuch auch dann noch ebenso beweisend, obgleich es sich dann gar nicht mehr um die simultane, sondern um die successive Lichtinduction handelt, welche ich in meiner ersten Mittheilung besprochen habe. Ohnedies wird ja der Leser schon erkannt haben, daß die successive Lichtinduction nichts weiter ist, als die deutlicher hervortretende Fortsetzung der simultanen.

Die letztbeschriebene Abänderung des Versuches, wobei man also nur noch das negative Nachbild vor sich hat, ist nun deshalb besonders beweisend, weil dabei das Nachbild nach einiger Zeit in eine Phase tritt, bei welcher man nichts mehr sieht, als nur das hellleuchtende Nachbild des schmalen, schwarzen Streifens auf einem gleichmäßig dunklen Grunde, während man nach der Ermüdungstheorie vielmehr entweder das dunkle Nachbild des weißen, in der Mitte ausgeschnittenen Streifens auf gleichmäßig hellerem Grunde oder aber gar nichts sehen müßte.

Die Vertreter der Ermüdungstheorie dürfen nicht einwenden, daß die oben beschriebene Erscheinung aus einer verschiedenen Ermüdbarkeit der centralen und der peripheren Netzhaut zu erklären sei, denn daß hierin nicht der wesentliche Grund der Erscheinung liegt, geht aus dem in §. 6 meiner ersten Mittheilung beschriebenen Versuche hervor. Man fixire den Punkt *a* des in Fig. 1 verkleinert dargestellten Gesichtsfeldes ½—1 Minute lang, schließe und verdecke dann die Augen, und man wird finden, daß das Nachbild des schwarzen Querstreifens viel heller erscheint, als der symmetrisch gelegene Theil des Grundes auf der andern Sehfeldhälfte, und auch hier wird man Phasen erhalten, wo der Unterschied zwischen rechter und linker Sehfeldhälfte ganz undeutlich wird, während das Nachbild des Querstreifens allein hell auf dunklerem Grunde erscheint. Oder man fixire die Grenzlinie eines zur Hälfte schwarzen, zur andern weißen Gesichtsfeldes, während auf letzterer noch ein schwarzer Streifen parallel zur Grenzlinie und nicht weit von ihr gelegen ist, und man wird im negativen Nachbilde des geschlossenen Auges ganz Analoges, wie bei den andern Versuchen, beobachten.'

Die beschriebenen Versuche haben gelehrt, daß dunkle Felder auf hellem Grunde bei längerer Fixation deshalb immer heller werden, weil von der umgebenden hellen Fläche Licht auf sie inducirt wird, welches immer deutlicher hervortritt, je mehr man die objective Beleuchtung mindert. Denn dieses Hellerwerden trat nur an denjenigen objectiv dunklen Stellen besonders deutlich hervor, welche an objectiv helle Flächen angrenzten oder von solchen umgeben waren, während doch die Ermüdung auf allen dunklen Theilen der Netzhaut gleichmäßig ausgeschlossen blieb: Beweis, daß das simultan inducirte Licht wirklich auf einer veränderten Erregung und Empfindung, nicht aber auf einer durch unbewußte Schlüsse hervorgerufenen falschen Vorstellung beruht.

§. 17.

Vom Zusammenhange zwischen dem simultanen Contraste, der simultanen und der successiven Lichtinduction.

Die Veränderung, welche die Erscheinungen der simultanen Lichtinduction zeigten, wenn die objective Beleuchtung gemindert wurde, lehrte uns schon, daß die simultane Lichtinduction ohne scharfe Grenze in die successive übergehen kann, und es wurde dadurch anschaulich gemacht, wie beide Erscheinungen im Grunde identisch sind. Daher müssen die innigen Beziehungen, welche, wie ich in §. 12 meiner zweiten Mittheilung hervorhob, zwischen successiver Lichtinduction und simultanem Contraste bestehen, auch zwischen diesem und der simultanen Lichtinduction vorhanden sein, was denn auch bei den vorhin beschriebenen Versuchen ganz deutlich hervortritt. Der Zusammenhang aller drei Vorgänge ist nämlich dieser: Im Beginne der fixirenden Betrachtung einer Grenzlinie zwischen Hellem und Dunklem erscheint das Dunkle, besonders in unmittelbarer Nähe des Hellen, noch dunkler, als es bei Abwesenheit des Hellen erscheinen würde — simultaner Contrast —; setzen wir aber die Fixation längere Zeit fort, so nimmt die anfängliche Verdunklung wieder mehr und mehr ab und geht allmälig in eine Erhellung über, die abermals in unmittelbarer Nähe der Grenzlinie am deut-

lichsten ist — simultane Lichtinduction —; diese Erhellung endlich bleibt noch längere Zeit sichtbar, auch wenn wir das objectiv Helle als die veranlassende Ursache entfernen oder die Helligkeit desselben stark herabsetzen oder das Auge schließen — successive Lichtinduction. — Mit andern Worten, der simultane Contrast schlägt bei fortgesetzter Fixation allmälig in sein Gegentheil um, und diese sozusagen negative Phase des Simultancontrastes dauert auch nach Abschwächung oder Entfernung des objectiv Hellen noch eine gewisse Zeit hindurch fort.

Dies ist in den gröbsten Umrissen der Zusammenhang zwischen den bis jetzt geschilderten drei Vorgängen, welche, wie ich zeigte, alle drei und jeder für sich beweisen, daß die Erregung und Empfindung einer Netzhautstelle nicht blos von der eigenen, sondern auch von der Beleuchtung der übrigen Netzhaut abhängt.

Über successiven Lichtcontrast.

§. 18.

Die Erklärung des successiven Contrastes aus der Ermüdung ist unzureichend.

Hat man einen Streifen weißen Papiers auf schwarzem Grunde eine Zeit lang fixirt und entfernt dann rasch den Streifen, so erscheint im Allgemeinen die entsprechende Stelle des Grundes dunkler als zuvor. Die übliche Erklärung hiefür ist bekanntlich folgende: Die vom Lichte des weißen Streifens beleuchtete Netzhautstelle wird stärker ermüdet, als die übrige Netzhaut, und empfindet darum nach Entfernung des Streifens das schwache Licht des schwarzen Grundes noch schwächer, als die übrige Netzhaut.

Die nähere Beobachtung des ganzen Verlaufes eines solchen Nachbildes lehrt jedoch, daß diese Erklärung durchaus nicht zureichend ist.

Erstens nämlich nimmt das negative Nachbild keineswegs stetig an Deutlichkeit ab, sondern schwindet zwar allmälig und verschwindet endlich ganz, aber nur um nach einiger Zeit und ohne jeden äußeren Anlaß wieder hervorzutreten, verschwindet abermals und kehrt nochmals wieder etc.; und zwar ist der zeit-

liche Ablauf aller dieser Phasen des Nachbildes kein regelloser, sondern folgt bestimmten Gesetzen. Zweitens kommt es vor, daß das negative Nachbild in gewissen Phasen eigentlich gar nicht dunkler erscheint als der Grund, sondern nur dunkler als die nächst umgebenden Theile des Grundes: alles Thatsachen, welche leicht zu bestätigen sind und sich aus der Ermüdung nicht nur nicht erklären lassen, sondern sogar gegen die Annahme sprechen, daß es sich hier um eine bloße Ermüdungserscheinung handle.

Legt man auf einen hellen weißen Grund einen tief dunklen Streifen und fixirt letzteren anhaltend, so sieht man nach Entfernung desselben die entsprechende Stelle des Grundes bedeutend heller, und auch dieses Nachbild nimmt nicht stetig an Helligkeit ab, sondern erscheint nach dem erstmaligen Verschwinden ein- oder mehrmals wieder, ehe es endgiltig verklingt.

Blinzeln, Bewegungen des Auges etc. stören einigermaßen den gesetzmäßigen Verlauf der Nachbilderscheinungen und sind deshalb möglichst zu vermeiden. Daß aber das periodische Verschwinden und Wiedererscheinen der Nachbilder nicht lediglich durch derartige zufällige Störungen bedingt ist, erkennt man schon, wenn man solche Versuche öfter anstellt, und insbesondere wird es durch längere Versuchsreihen erwiesen, weil dabei die Zufälligkeiten immer mehr hinter der Gesetzmäßigkeit zurücktreten. Ich muß mich also mit Aubert gegen Helmholtz erklären, welcher das periodische Verschwinden der Nachbilder lediglich auf Zufälligkeiten zurückführen will.

Ganz unverträglich mit der Ermüdungshypothese ist ferner die Thatsache, daß selbst sehr deutliche negative Nachbilder in deutliche positive übergehen können. Fixire ich z. B. eine Gasflamme etwa 20 Min. lang und blicke dann auf ein hell beleuchtetes weißes Papier, so entwickelt sich mir zuerst ein, abgesehen von der sonstigen Färbung, fast schwärzlich zu nennendes negatives Nachbild, welches aber nach einiger Zeit in ein deutlich positives übergeht, um nachher wieder negativ zu werden. Hier habe ich also die betreffende Netzhautstelle sehr stark „ermüdet“, und dennoch empfindet sie nach einiger Zeit das helle Weiß des Papiers noch heller, als die nicht durch das Flammenbild ermüdete Netzhaut.

Je schwächer der Grund leuchtet, auf welchem man ein negatives Nachbild sich entwickeln läßt, desto leichter wird es

vorübergehend positiv; am leichtesten natürlich bei verschlossenen und verdunkelten Augen. Absichtlich aber habe ich den ungünstigsten Fall angeführt, bei welchem das Nachbild auf einer hellen weißen Fläche positiv werden muß. Auch diese vorübergehende Umwandlung negativer Nachbilder in positive folgt bestimmten Gesetzen und ist keineswegs auf zufällige mechanische oder psychische Einflüsse zurückzuführen.

Indessen will ich gern zugeben, daß sich die Ermüdungshypothese gegenüber diesen Einwendungen durch allerlei Hilfshypothesen helfen könnte, und es sollen diese Einwendungen hier zunächst nur lehren, daß jene Hypothese nur diejenigen Phasen der Nachbilder berücksichtigt, welche eben zu ihr passen, die andern aber, welche an sich genau ebenso wichtig sind, ganz und gar unerklärt läßt.

Aber wenn es auch alle diese noch unerklärten Phasen nicht gäbe, schon allein die Helligkeitsverhältnisse gerade derjenigen Phasen, auf welche sich die Ermüdungshypothese ausschließlich stützt, würden eindringlich genug gegen dieselbe zeugen.

Man betrachte eine weit ausgedehnte, weiße und hell beleuchtete Fläche 20 bis 30″ lang und suche sich Rechenschaft zu geben von der Helligkeitsabnahme, welche die Fläche während dieser Betrachtung erleidet. Dann nehme man einen schmalen, weißen Streifen von derselben Helligkeit wie jene Fläche, lege ihn auf einen dunklen Grund, und nachdem man mehrere Minuten die Augen ausruhen ließ, fixire man einen Punkt des Streifens ebenso lange wie zuvor die weiße Fläche. Hierauf blicke man wieder auf die letztere, und man wird einen dunkelgrauen Streifen sehen, dessen scheinbare Helligkeit **viel** geringer ist, als die scheinbare Helligkeit der weißen Fläche nach 30″ langer Betrachtung war. Man mache den Versuch in umgekehrter Reihenfolge, und man wird wieder dasselbe Ergebniß haben.

Jeder Unbefangene wird nach diesen Versuchen erstaunt sein, zu hören, daß dem Weiß, welches er auf der hellen Fläche nach 30″ langer Betrachtung sieht, genau dieselbe Empfindung zu Grunde liege, wie dem Dunkelgrau, welches ihm in dem, auf

der hellen Fläche sichtbaren Nachbilde des 30" lang betrachteten hellen Streifens erscheint, und daß nur seine unbewußten falschen Schlüsse der Grund seien, daß er sich beide, an sich gleiche Empfindungen so verschieden vorstelle.

Nach der spiritualistischen Theorie nämlich sollen wir die bei anhaltender Fixation einer weißen Fläche eintretende Abnahme der Helligkeitsempfindung nur deshalb nicht in ihrem vollen Maße wahrnehmen, weil wir die ursprüngliche Helligkeitsempfindung nicht zum Vergleiche daneben haben. Wenn wir dagegen das negative Nachbild des weißen Streifens auf der weißen Fläche sehen, so kann die Empfindung der ermüdeten Netzhautpartie mit derjenigen der unermüdeten unmittelbar verglichen werden, und deshalb soll uns nun der große Unterschied beider Empfindungen erst zum Bewußtsein kommen.

Mit demselben Rechte, mit welchem die spiritualistische Theorie alle successiven Contrasterscheinungen oder negativen Nachbilder einzig und allein aus der Ermüdung für Weiß erklärt — soweit es sich nicht um Farben im engeren Sinne handelt — könnte man dieselben Erscheinungen auch aus der Ermüdung für Schwarz erklären.

Wie nämlich eine weiße Fläche bei längerer Betrachtung immer dunkler erscheint, so erscheint eine schwarze Fläche dabei immer heller. Wenn nun Einer annehmen wollte, die Empfindung des Hellen oder Weißen beruhe nicht auf einer im Vergleich zum Ruhezustand der Netzhaut gesteigerten Erregung derselben, sondern darauf, daß die Empfindung des Dunklen oder Schwarzen, durch welche sich das innere Leben (der Stoffwechsel oder wie man will) der Netzhaut manifestire, durch das äußere Licht mehr oder minder gehemmt werde, welche Hemmung man eben als gemindertes Dunkel, d. h. als Helligkeit empfinde: so würde er unter Beihilfe der unbewußten falschen Urtheile und Schlüsse alle Erscheinungen des successiven Contrastes ebensogut erklären können, wie dies jetzt aus der angenommenen Ermüdung für Weiß geschieht. Und wenn gar Einer käme und sagte, das „Sensorium" ermüde für die von der Netzhaut her erweckte Empfindung des Dunklen ebenso leicht, als für die von ebendaher erweckte Empfindung des Hellen, so würde er noch leichteres Spiel und gar nicht nöthig

haben, so künstliche Hilfshypothesen zu machen, wie sie jetzt gemacht werden müssen.

§. 19.

Vom Antheile der successiven Lichtinduction an den Erscheinungen des successiven Contrastes.

Wer häufig Nachbilder im geschlossenen Auge beobachtet hat, wird wissen, daß in Fällen, wo ein deutliches negatives Nachbild eines gut fixirten, hellen Objectes auf dunklem Grunde eigentlich gar nicht zur Entwicklung kommt, doch die Umrisse des hellen Objectes häufig im verdunkelten Gesichtsfelde des geschlossenen Auges wieder zu erkennen sind an mehr oder minder breiten, nach der einen Seite scharf absetzenden, nach der andern verwaschenen Streifen, welche sich vom dunklen Grunde durch etwas größere Helligkeit unterscheiden lassen. Hat man z. B. die Grenzlinie eines zur linken Hälfte dunklern, zur rechten Hälfte hellern Gesichtsfeldes wenige Secunden lang bei schwacher Beleuchtung fixirt und schließt dann die Augen, so beschränkt sich öfters das negative Nachbild im geschlossenen Auge lediglich auf einen senkrecht durch das Gesichtsfeld gehenden Nebelstreif, welcher nach rechts scharf abgeschnitten ist, nach links hin verschwimmt, während der Grund allenthalben gleich dunkel erscheint. Oft stellt sich das negative Nachbild wenigstens im Beginne seiner Entwicklung in dieser Weise dar, und erst nachher bemerkt man eine stärkere Verdunklung der rechten Gesichtsfeldhälfte, beginnend von dem Streifen und sich weiter und weiter nach rechts verbreitend, während die linke Hälfte ebenfalls vom Streifen her allmälig heller wird.

Der Leser, welcher meine früheren Mittheilungen kennt, weiß bereits, daß dieser nebelhafte, die Grenze des negativen Nachbildes der weißen Fläche markirende Streifen die Folge einer unter den angeführten Bedingungen nur schwachen Lichtinduction und also die erste Andeutung jenes „Lichthofes“ ist, welcher immer das negative Nachbild eines hellen, auf dunklem Grunde betrachteten Objectes im Sehfelde des geschlossenen Auges umgibt.

Nicht die größere Dunkelheit der zuvor stärker erregten (ermüdeten) Netzhautstellen ist es also, durch die sich das ne-

gative Nachbild in solchen Fällen zuerst verräth, sondern der durch die Induction erzeugte Lichthof: das inducirte Licht zeichnet hier zuerst und bisweilen allein die Umrisse des betrachteten hellen Objectes auf dem sonst gleichmäßig dunklen Sehfelde des geschlossenen Auges ab.

Hieraus geht, auch wenn wir von der successiven Lichtinduction weiter gar nichts wüßten, die hohe Bedeutung derselben für die Entwicklung der negativen Nachbilder hervor.

In der That, mit größerem Rechte, als die jetzige Theorie alle negativen Nachbilder aus der Ermüdung ableitet, ließen sie sich aus der successiven Lichtinduction erklären, wenn man sich dazu verstehen wollte, die unbewußten Schlüsse zu Hilfe zu nehmen.

Man lege auf einen weit ausgebreiteten, schwarzen Grund zwei große weiße Blätter so, daß sie vom schwarzen Grunde nur einen Streifen von 1 Cm. Breite frei lassen. Dann mache man auf der Mitte dieses Streifens eine kleine, weiße Marke und fixire dieselbe einige Zeit. Wenn man dann rasch die beiden weißen Blätter wegnimmt oder besser wegnehmen läßt, so erscheint auf dem nun schwarzen Grunde das negative Nachbild, welches im inducirten Lichte leuchtet. Je länger die Fixation des Vorbildes währte, desto heller ist im Allgemeinen das Nachbild.

Aus der Ermüdungshypothese erklärt sich dieses manchmal geradezu leuchtende Nachbild nur höchst gezwungener Weise unter Beihilfe der spiritualistischen Contrastlehre. Der Unbefangene wird die Erklärung aus der Lichtinduction viel entsprechender finden, denn er wird nur ungern glauben, daß das helle Nachbild, welches er sieht, eigentlich noch dieselbe Empfindung, dasselbe Schwarz ist, welches er gleich beim ersten Blick auf dem schwarzen Streifen sah.

Nun mache man den entgegengesetzten Versuch: man lege große schwarze Blätter in der oben beschriebenen Art auf einen weißen Grund und fixire anhaltend den weißen Streifen. Dann entferne man rasch die schwarzen Blätter und man wird das negative Nachbild sehen als dunkleren Streifen auf hellem Grunde. Je länger die Betrachtung des Vorbildes, desto dunkler dieses Nachbild.

Wollte man auch dieses Nachbild lediglich aus der successiven Lichtinduction erklären, so müßte man sagen, der helle Streifen im Vorbilde habe Licht auf die zuvor dunklen Theile der Netzhaut inducirt, welches inducirte Licht sich nach Entfernung der schwarzen Blätter zu dem nun sichtbar werdenden objectiven Lichte gleichsam hinzuaddire, daher die früher dunklen Theile des Gesichtsfeldes jetzt heller erscheinen müssen, als der Streifen. Dieser selbst werde eigentlich nicht dunkler empfunden, als zu Anfang der Betrachtung, sondern erscheine uns nur so im Contraste gegen die hellere Umgebung.

Aber der Unbefangene müßte jetzt diese Erklärung des dunklern negativen Nachbildes aus der bloßen Lichtinduction ebenso unannehmbar finden, als vorhin die Erklärung des hellern negativen Nachbildes aus der Ermüdung, und zwar auch wieder deshalb, weil der Augenschein so stark dagegen spricht. Denn jenes dunkle Nachbild erscheint eben grau oder sogar dunkelgrau, nicht aber weiß, und es ist schwer, Jemandem einreden zu wollen, daß das, was er dunkelgrau *sieht*, eigentlich ebenso *weiß* von ihm empfunden wird, wie anfangs der weiße Streifen zwischen den schwarzen Blättern. Gern glaubt Jeder, daß sein Auge ihn über die wirkliche Helligkeit des Streifens täuschen könne, und daß wirklich der weiße Grund auch an Stelle des Nachbildes nicht dunkler ist, als anderswo, aber daß sein Urtheil, und noch dazu ein „unbewußtes", ihn so über seine *Empfindung* täuschen könne, das glaubt er nicht so leicht.

Ich würde in der That denselben Fehler begehen, welchen ich vorhin der jetzt geltenden Theorie vorwarf, wenn ich, nachdem ich das thatsächliche Vorhandensein der successiven Lichtinduction erwiesen habe, nun alle Erscheinungen des successiven Contrastes daraus erklären wollte; es galt aber, hier nochmals darzuthun, wie leicht alle Räthsel der Empfindung zu lösen sind, wenn man sich je nach Bedarf spiritualistischer Ausflüchte bedient.

Daß eine Netzhautstelle, auf welche äußeres Licht eingewirkt hat, im Allgemeinen eine schwächere sogenannte Erregbarkeit für dieses selbe Licht hat, als eine zuvor nicht von diesem Licht getroffene Stelle, dies will ich durchaus nicht be-

streiten, sondern werde später diese Veränderung der Erregbarkeit ausführlich zu erörtern haben. Dagegen aber darf nun auch auf Grund dieser Mittheilungen verlangt werden, daß die successive Lichtinduction und ihre sehr wesentliche Mitwirkung bei den Erscheinungen des successiven Contrastes anerkannt werde.

§. 20.

Schlußbemerkungen.

Durch die vorliegende und die beiden früheren Mittheilungen hoffe ich im Leser wenigstens so viel Zweifel an der Richtigkeit der jetzt herrschenden Theorie der Gesichtsempfindungen erweckt zu haben, als nöthig ist, um für eine neue Theorie zugänglich zu werden.

Ich hätte, wenn ich nicht Furcht vor der Ermüdung des Lesers gehabt hätte, von den zahlreichen Thatsachen, welche mit jener Theorie nicht in Einklang zu bringen sind, noch so manche anführen und insbesondere die Erscheinungen der Induction und des Contrastes auch noch an den Farbenempfindungen erläutern können. Aber ich halte es für zweckmässiger, nunmehr sogleich die Grundzüge meiner Theorie selbst darzulegen und dann aus derselben nach und nach die Thatsachen gruppenweise zu entwickeln. Was die Farben (im engern Sinne) betrifft, so sei hier nur soviel bemerkt, daß die Erscheinungen der Induction und des Contrastes sich ebenso wie zwischen Schwarz und Weiß oder Dunkel und Hell, auch zwischen Blau und Gelb und zwischen Grün und Roth erzeugen lassen, so daß man im Allgemeinen alle in diesen Mittheilungen angegebenen Versuche in's Farbige übersetzen kann, wenn man festhält, daß sich Schwarz zu Weiß verhält wie Blau zu Gelb und wie Grün zu Roth.

Vierte Mittheilung.

Über die sogenannte Intensität der Lichtempfindung und über die Empfindung des Schwarzen.

(Vorgelegt in der Sitzung am 19. März 1874.)

§. 21.

Von der sogenannten Intensität der Lichtempfindung.

Wenn es sich darum handelt, für die verschiedenen Eigenschaften unserer Empfindungen passende und strenge Begriffe und Bezeichnungen zu erhalten, so ist das erste Erforderniß, daß man diese Begriffe lediglich aus den Empfindungen selbst abziehe und es streng vermeide, die Empfindung mit ihren physikalischen oder physiologischen Ursachen zu verwechseln, oder irgend ein Princip der Eintheilung dem Gebiete der letzteren zu entnehmen. Es ist auffällig, daß gegen diese eigentlich selbstverständliche Forderung noch immer verstossen wird, und daß wir daher vielfach bei Malern eine objectivere Auffassung der Gesichtsempfindungen finden, als bei Physikern und Physiologen, ja daß sogar im gemeinen Sprachgebrauche in mancher Beziehung größere Klarheit über den hier zu behandelnden Gegenstand herrscht als in der Literatur der physiologischen Optik.

Jede Gesichtsempfindung erinnert uns mehr oder minder lebhaft an andere Gesichtsempfindungen, jede hat mit gewissen anderen eine ganz besondere Ähnlichkeit. Darauf beruht die innere Verwandtschaft der Gesichtsempfindungen untereinander und die Möglichkeit, sie von dem großen Kreise der Empfindungen überhaupt als ein besonderes Empfindungsgebiet abzugrenzen. Wir sind auch meistens im Stande, sofort anzugeben, worin diese Ähnlichkeit oder Verwandtschaft hauptsächlich liegt, und was eigentlich das tertium comparationis ist.

Letzteres darf freilich nicht in den physikalischen oder physiologischen Bedingungen der Gesichtsempfindungen gesucht werden, denn über diese sagt ja die Empfindung an sich zunächst noch gar nichts aus. Die Ähnlichkeit zweier Gesichtsempfindungen darin zu suchen, daß beide durch Ätherschwingungen veranlaßt, oder daß beide von der Netzhaut her erweckt werden, wäre ebenso falsch, als die Ähnlichkeit zweier Neger darin finden zu wollen, daß beide in Afrika erzeugt sind. Das tertium comparationis ist vielmehr in den gegebenen Empfindungen selbst zu suchen.

Denken wir uns die ganze Reihe der Übergänge vom tiefsten Schwarz bis zum lichtesten Weiß, so sind dies offenbar lauter in sich nahe verwandte Empfindungen, und wir sind auch gar nicht in Zweifel, worauf diese ihre Verwandtschaft vorzugsweise beruht. Wir sagen, alle Empfindungen dieser Reihe sind heller als das Schwarz am einen, dunkler als das Weiß am andern Ende der Reihe. In zweifacher Hinsicht also haben alle diese Empfindungen etwas Gemeinsames; erstens haben sie alle, verglichen mit dem reinen Weiß, etwas Dunkles, Schattiges oder Schwärzliches, andererseits haben sie, verglichen mit dem reinen Schwarz, alle etwas Helles oder Weißliches; mit andern Worten, jede dieser Übergangsempfindungen erinnert uns zugleich an Weiß und Schwarz, nur überwiegt hier mehr das eine, dort mehr das andere, oder das eine findet sich nur spurweise, das andere deutlich u. s. f.

Betrachten wir das Grau, welches in der Mitte der ganzen Reihe liegt und also von Schwarz und Weiß gleichweit entfernt ist, so können wir nicht sagen, daß wir in demselben eigentliches Weiß oder eigentliches Schwarz sehen, sondern wir haben eine sowohl vom Weiß als vom Schwarz verschiedene Empfindung, eine Empfindung besonderer Qualität, sehen aber doch in diesem Grau gewissermaßen Helligkeit und Dunkelheit, Weiß und Schwarz zugleich, beide gleichsam abgeschwächt. Nur das reine Weiß und Schwarz scheinen mit einander fast keine Ähnlichkeit zu haben, sondern wir fassen sie vielmehr als Gegensätze auf. Worauf dies beruht, ist hier nicht weiter zu untersuchen; vielmehr will ich gerade darauf Gewicht legen, daß

uns diese beiden Empfindungen ganz besonders verschieden erscheinen.

Da Schwarz und Weiß oder Dunkel und Hell genau genommen nicht Eigenschaften der Aussendinge, sondern zunächst nur Eigenschaften unserer Empfindung sind, so ist es gestattet, von schwarzen oder dunklen und von weißen oder hellen Empfindungen zu sprechen. In diesem Sinne kann man auch die ganze Reihe der Übergangsempfindungen vom reinsten Schwarz zum reinsten oder lichtesten Weiß als die schwarzweiße Empfindungsreihe bezeichnen, weil alle Empfindungen dieser Reihe nur Schwarz und Weiß in verschiedenen Verhältnissen der Deutlichkeit, aber keine andere Farbe enthalten.

Verfolgen wir nun diese Übergänge vom Schwarzen nach dem Weißen hin, so sehen wir, wie die Empfindung Schritt für Schritt ihre Qualität ändert, wie das Schwarz allmälig in Grau und dieses weiterhin in Weiß übergeht; wir sehen, wie die Empfindung des Schwarzen mehr und mehr beeinträchtigt, verunreinigt oder verdrängt wird durch das mehr und mehr sich vordrängende Weiß, oder wie, wenn wir vom Weiß zum Schwarz zurückgehen, umgekehrt das Weiß mehr und mehr verunreinigt oder verdrängt wird durch das immer stärker hervortretende Schwarz.

Wenn nun Einer sagen wollte, daß unter solchen Verhältnissen die Empfindung auf der einen Seite, nämlich im tiefsten Schwarz, gleich Null sei, und daß ihre Intensität nach der andern Seite hin wachse und endlich im reinsten Weiß ihr Maximum habe, so könnte ein Anderer mit demselben Recht sagen, daß die Empfindung im reinsten Weiß gleich Null sei und im tiefsten Schwarz ihre höchste Intensität erreiche. Denn während der Eine so verfährt, als ob das Schwarz gar nicht vorhanden wäre, verführe der Andere ebenso mit dem Weiß, und eines wäre so richtig oder falsch wie das andere. Wer ohne alle Voraussetzungen an die Untersuchung seiner Gesichtsempfindungen geht, darf ja noch gar nichts davon wissen, daß dem Weißen objectives Licht entspricht, dem Schwarzen aber nicht; und wenn der Eine sich von der Voraussetzung leiten läßt, daß das objective Licht die Empfindung des Weißen erzeuge, so könnte der Andere behaupten, dieses Licht hemme ihm blos die Empfindung des Schwarzen,

und das reinste Weiß sei nichts anderes als die Empfindung der vollständigen Hemmung der Schwarzempfindung. Beide Voraussetzungen wären gleich unerlaubt, denn wir sollen eben die Empfindungen zunächst ohne alle derartige Voraussetzungen untersuchen.

Da man also mit demselben Rechte von einer Intensität der Empfindung des Schwarzen oder Dunklen, wie von einer Intensität des Weißen oder Hellen sprechen kann, so muß man entweder den Ausdruck „Intensität“ ganz fallen lassen und sagen, daß in der beschriebenen Empfindungsreihe die Empfindung Schritt für Schritt ihre Qualität ändere, und muß die ganze Scala der Empfindungen zwischen Weiß und Schwarz in derselben Weise auffassen, wie die Farbenscala, welche von einer gesättigten Farbe, z. B. dem Roth, zu einer andern, z. B. dem Gelb, führt, oder man muß in der schwarzweißen Empfindungsreihe zwei Intensitätsscalen annehmen, deren eine dem Weißen oder Hellen, die andere dem Schwarzen oder Dunklen entspricht.

Nun wird man vielleicht einwenden wollen, daß man es anders gar nicht gemeint habe, als man von der Intensität der Lichtempfindung sprach. Das Schwarz könne zwar allenfalls eine Gesichtsempfindung, aber gewiß nicht eine Lichtempfindung genannt werden; und es verstehe sich von selbst, daß mit jedem Wachsthum des Positiven eine entsprechende Abnahme des Negativen einhergehe.

Aber worin liegt dieses angeblich Positive der Empfindung des Weißen gegenüber dem Schwarzen? Lediglich darin, daß wir, Dank der alltäglichen Erfahrung und der physikalischen Optik, mehr Positives von den Vorgängen wissen, welche die weiße Empfindung, als von denen, welche die schwarze Empfindung bedingen. Als bloße Empfindung ist Schwarz ganz ebenso positiv wie Weiß, und wenn man durchaus die eine dieser beiden Empfindungen als positiv, die andere als negativ bezeichnen will, so kann man ebenso gut das Schwarz wie das Weiß positiv nennen. Übrigens aber besteht zwischen diesen beiden Empfindungen gar nicht dasselbe Verhältniß, wie zwischen positiven und negativen Größen in dem jetzt üblichen mathematischen Sinne, denn jene Empfindungen heben sich nicht gegenseitig auf,

sondern geben durch ihre Verbindung ein Product besonderer Qualität. In jedem Grau empfinden wir Weiß und Schwarz zugleich, aber keines von beiden vollständig, wie wir im Kinde zugleich Vater und Mutter, doch aber weder den ganzen Vater noch die ganze Mutter sehen.

Wer also ohne alle physikalischen und physiologischen Voraussetzungen an die Thatsachen des Gesichtssinnes herantritt, kann nicht sagen, daß Grau eine intensivere Empfindung sei als Schwarz u. dergl. m.; er kann nur sagen, daß er in der schwarzweißen Empfindungsreihe am einen Ende das Schwarz, am anderen das Weiß am reinsten empfindet, und daß er, wenn er die Übergänge vom Schwarz zum Weiß durchläuft, das Schwarze immer mehr durch Weiß verdrängt oder verunreinigt sieht und umgekehrt.

Will man die in der einen Richtung mehr und mehr wachsende Reinheit des Weiß als wachsende Intensität bezeichnen, so muß auch die in der andern Richtung wachsende Reinheit des Schwarz ebenso bezeichnet werden. Sind aber zwei Intensitätsreihen in der gegebenen Empfindungsreihe zugleich anzunehmen, so heißt das nichts anderes, als daß alle Übergänge vom Weißen zum Schwarzen als Mischungen derjenigen beiden Empfindungen angesehen werden können, welche an den beiden Enden der Reihe am reinsten hervortreten. Die Bezeichnungen „Intensität“, „Stärke“ oder „intensive Größe“ (Fechner) lassen sich also auf die besprochene Empfindungsreihe, für welche sie besonders häufig angewandt worden sind, nur unter der Bedingung gebrauchen, daß man jedem einzelnen Gliede der Reihe zwei Intensitäten zugesteht und das Verhältniß angibt, in welchem hier die Intensitäten der beiden Empfindungen des Schwarz und Weiß zu einander stehen, wobei man also Schwarz und Weiß als relativ einfache Empfindungen von den Übergängen zwischen beiden als gemischten Empfindungen unterscheidet.

Wenn den einzelnen Stufen der schwarzweißen Empfindungsreihe eine Intensität im jetzt üblichen Sinne des Wortes zugeschrieben werden könnte, so müßte es denkbar sein, daß diese Intensität sich änderte; denn andernfalls hätte die Anwendung des Begriffes der Intensität hier keinen Sinn. Wie aber soll

sich z. B. ein bestimmtes Grau seiner Intensität nach ändern? Eine Änderung ist, abgesehen von der Beimischung anderer Farben, nur denkbar durch ein deutlicheres Hervortreten des in ihm enthaltenen Schwarz oder Weiß, dadurch aber würde das gegebene Grau in ein anderes Grau verwandelt, welches in der schwarzweißen Empfindungsreihe weiter nach dem Weiß oder nach dem Schwarz hin liegt. Wollte man aber sagen, das reine Weiß, welches das eine Ende der Reihe bildet, sei doch einer Steigerung seiner Intensität fähig, so wäre eine solche auch wieder nur unter der Voraussetzung denkbar, daß dieses Weiß noch nicht ganz frei wäre von jeder Verunreinigung mit Schwarz, daß also noch nicht jede Spur von Schatten oder Dunkelheit daraus getilgt wäre.

Will man daher nicht Schwarz und Weiß als relativ einfache Empfindungen ihren Übergängen als gemischten entgegenstellen und jeder Übergangsstufe zwei Intensitäten zuschreiben, so hat es überhaupt keine Berechtigung, von Intensität dieser Empfindungen im üblichen Sinne des Wortes zu sprechen; denn jede Änderung, welche an diesen Empfindungen vorkommt, ist dann lediglich als eine qualitative anzusehen. Ein bestimmtes Grau kann nicht grauer werden, sondern nur weißlicher oder schwärzlicher (heller oder dunkler), und Weiß kann uur weißer werden, wenn die übriggebliebenen Spuren von Grau oder Schwarz daraus verschwinden.

Wie inconsequent man gegenwärtig bei der Anwendung des Begriffes der Intensität auf die Gesichtsempfindungen verfährt, lehrt u. a. auch Folgendes. Die einzelnen Stufen der Farbenreihe, welche man erhält, wenn man beispielsweise gesättigtes Roth und Gelb in verschiedenen Verhältnissen auf dem Farbenkreisel mischt, oder jene Übergänge, welche im Spectrum zwischen dem äußersten Roth und dem Gelb liegen, bezeichnet man als Farbentöne, das soll heißen als qualitativ verschiedene Lichtempfindungen. Gleichwohl besteht hier zwischen Roth und Gelb eine analoge Beziehung, wie bei den schwarzweißen Empfindungen zwischen Schwarz und Weiß. Der möglichst gesättigten oder reinen Farbe am einen Ende der gegebenen Emfindungsreihe mischt sich mehr und mehr von der anderen Farbe bei, in der Mitte sehen wir ein Orange, in welchem beide Farben etwa gleich deutlich oder undeutlich hervortreten (daher wir das Orange auch als rothgelb oder gelbroth bezeichnen), dann überwiegt mehr und mehr die andere Farbe und kommt endlich im reinen Gelb ausschließlich zur Geltung. Auch hier finden wir also jede Stufe der Reihe qualitativ von ihren Nachbarn verschieden, und deshalb könnte man hier mit dem-

selben Rechte wie bei der schwarzweißen Empfindungsreihe von Intensitäten reden, nur hätte man ebenfalls zwei entgegengesetzte Intensitätsreihen anzunehmen. Am einen Ende ist das Roth am intensivsten, am andern das Gelb, und in den Zwischenstufen finden sich alle möglichen Verhältnisse der Intensitäten der beiden Farben.

Daß man die Übergänge vom Roth zum Gelb als rein qualitative Änderungen der Empfindung, die Übergänge vom Schwarz zum Weiß aber als bloße Änderungen der Intensität der Empfindung auffaßte, hatte seinen Grund lediglich darin, daß man sich stets mehr an die physikalische Ursache der Empfindungen als an diese selbst hielt. Finden wir doch in der physiologischen Optik von Helmholtz unter dem Titel „die Lehre von den Gesichtsempfindungen" ein Capitel über „die einfachen Farben", ein anderes über „die zusammengesetzten Farben" und ein drittes über „die drei Grundfarben". Rothgelb, Blaugrün, Blauroth, aus denen jeder Unbefangene zwei Farben zugleich heraus erkennt, wie schon der Name sagt, werden da zu den einfachen Farben gezählt, das Weiß ist dagegen unter den zusammengesetzten Farben besprochen, und eben daselbst das Schwarz; Violett, welches ganz offenbar Roth und Blau zugleich enthält, ist als eine Grundfarbe bezeichnet: kurz ein Farbenverständiger, der nichts von Physik wüßte, würde den Sinn einer solchen Eintheilung, die dem natürlichen System der Gesichtsempfindungen überall zuwiderläuft, nie erfassen können. In einem physikalischen Handbuche hat jene sonderbare Eintheilung noch eine gewisse Berechtigung, denn den Physiker interessirt die Gesichtsempfindung nur insofern, als sie eine Reaction auf Ätherschwingungen verschiedener Wellenlänge und Amplitude ist; daß aber die Physiologen jene Eintheilung ebenfalls annahmen, war ein großer Fehler. Eine Consequenz dieses Fehlers war u. a. auch die Behauptung, daß jeder Farbe außer einem bestimmten Sättigungsgrade noch ein bestimmter Intensitätsgrad zukomme, was genau genommen eine Tautologie ist.

§. 22.

Von der Bezeichnung der Lichtempfindungen durch Zahlen- oder Größenverhältnisse.

Es läßt sich nie behaupten, daß ein reines, tiefes Schwarz, welches wir eben sehen, das reinste ist, welches wir überhaupt empfinden könnten, oder daß ein reines, helles Weiß, wie z. B. das der Sonnenscheibe, das reinste und hellste ist, welches überhaupt zu empfinden wäre. Eine Steigerung der Reinheit, d. i. im ersten Falle der Dunkelheit, im anderen der Helligkeit, ist wenigstens denkbar. Deshalb läßt sich auch jenes Schwarz und Weiß, welches wir an die beiden Enden der schwarzweißen Empfindungsreihe gestellt dachten, nur definiren als das reinste, tiefste Schwarz und das reinste lichteste Weiß, welches man sich denken kann; aber es ist nicht möglich, bestimmte Be-

dingungen anzugeben, unter welchen man diese reinsten Empfindungen wirklich hat. Scharfe reale Grenzen für die schwarzweiße Empfindungsreihe gibt es also nicht, ebensowenig wie man beim süßesten Geschmacke wissen kann, ob nicht vielleicht ein noch süßerer möglich wäre.

Theoretisch genommen, muß es ein Grau geben, welches von dem idealen, absolut reinen Schwarz und Weiß gleichweit entfernt ist, mit beiden gleich sehr verwandt erscheint, vom einen ebensoviel enthält als vom andern. Dies ist denknothwendig. Wir könnten dieses Grau als das mittlere oder neutrale Grau bezeichnen, als ein Grau von gleicher Helligkeit und Dunkelheit. Auch ist ersichtlich, daß ein solches Grau wirklich unter unsern Empfindungen vorkommen muß und daß es nicht wie das absolut reine Schwarz oder Weiß nur gedacht werden kann. Freilich aufzeigbar ist dieses bestimmte Grau vor der Hand noch nicht, und wir können vorerst noch nicht die Bedingungen angeben, unter welchen die Empfindung gerade von diesem Grau entstehen muß, ebensowenig wie man genau dasjenige Mischungsverhältniß eines süßen und eines sauren Stoffes angeben kann, bei welchem der saure Geschmack gerade ebenso stark ist als der süße. Aber dieses unser Unvermögen der genauen Bestimmung des Grades der Reinheit, oder, wenn man so will, des Mischungsverhältnisses der Empfindungen beweist nichts gegen das wirkliche Vorkommen solcher Empfindungen, in welchen Süß und Sauer oder Schwarz und Weiß gleich deutlich oder undeutlich enthalten sind. Denn der rein saure Geschmack läßt sich durch stetige Veränderung des Verhältnisses, in welchem man Süßes und Saures mischt, mehr und mehr in einen erst süßlich sauren, dann säuerlichsüßen und endlich rein süßen überführen, womit schon gesagt ist, daß es eine Mittelstufe geben muß, auf welcher Süß und Sauer gleich stark in der Empfindung enthalten sind, wenn wir auch diese Stufe nicht genau, sondern nur annähernd zu bestimmen vermögen. So gibt es auch schwarzweiße Empfindungen, von welchen jeder sofort sagen wird, daß sie dem Schwarzen näher stehen als dem Weißen, und andere, von denen Jeder meint, daß sie dem Weißen näher verwandt sind als dem Schwarzen, und hieraus folgt, daß es auch eine

bestimmte schwarzweiße Empfindung geben muß, in welcher Schwarz und Weiß gleichwerthig sind.

Diese mittlere oder neutrale graue Empfindung, deren wirkliches Vorkommen also zweifellos ist, wollen wir uns genau in die Mitte der schwarzweißen Empfindungsreihe gestellt denken. In ihr ist, da Schwarz und Weiß hier gleich deutlich empfunden werden, das Verhältniß

$$\text{Weiß : Schwarz oder W : S, d. i. } \frac{W}{S} \left(\text{oder } \frac{S}{W}\right) = 1.$$

Es leuchtet sofort ein, daß zwischen diesem mittlern Grau und dem reinsten Weiß genau ebensoviel verschiedene Empfindungsqualitäten oder Mischungsverhältnisse liegen müssen, wie zwischen ebendemselben Grau und dem reinsten Schwarz; denn dieselbe Rolle, die auf der einen Seite das immer mehr hervortretende Weiß spielt, kommt auf der andern Seite dem Schwarz zu, und wie auf der einen Seite das Schwarz mehr und mehr zurücktritt, so auf der andern Seite das Weiß. Im absolut reinen Weiß wäre das Verhältniß

$$\frac{W}{S} = \frac{W}{0} = \infty \left(\text{und } \frac{S}{W} = 0\right)$$

im absolut reinen Schwarz wäre

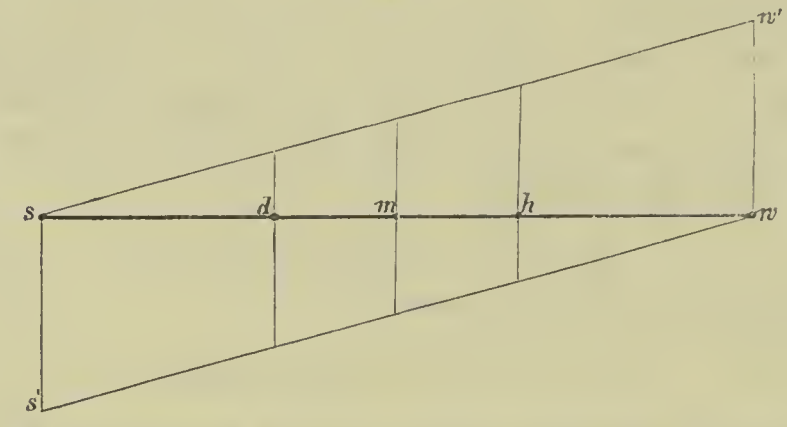
$$\frac{W}{S} = \frac{0}{S} = 0 \left(\text{und } \frac{S}{W} = \infty\right).$$

Zwei Empfindungen, welche von dem mittlen Grau $\left(\frac{W}{S} = 1\right)$ nach rechts und links gleichweit abliegen und also in gleichem Grade von diesem Grau verschieden sind, lassen sich ausdrücken durch reciproke Werthe. So muß es ein Hellgrau geben, in welchem $\frac{W}{S} = \frac{2}{1}$ ist, und diesem wird in der andern Hälfte der Reihe ein Dunkelgrau entsprechen müssen, in welchem $\frac{W}{S} = \frac{1}{2}$. Beide werden gleichweit vom mittlen Grau ab liegen, denn in dem Maße, wie im einen das Weiß über das Schwarz, überwiegt im andern das Schwarz über das Weiß. Alle Werthe von 1 bis ∞ werden also allen denkbaren Übergangsstufen vom mittlen Grau ($= 1$) bis zum reinsten Weiß ($= \infty$) entsprechen, und alle Werthe von 1 bis 0 allen denkbaren Übergängen vom mittlen Grau bis zum reinsten Schwarz. Ebensogut aber könnte man alles umkehren und überall die reciproken Werthe einsetzen, so daß

die Werthe zwischen 1 und ∞ den Übergängen vom mittlen Grau bis zum reinsten Schwarz, die Werthe zwischen 1 und 0 den Übergängen von demselben Grau bis zum reinsten Weiß entsprächen. Denn es ist, da es sich nur um Verhältnisse und nicht um Größen handelt, gleichgiltig, ob man das Weiß oder das Schwarz zum Nenner des als Bruch geschriebenen Verhältnisses macht, und zwischen 1 und ∞ liegen genau ebensoviel mögliche Verhältnisse wie zwischen 1 und 0, denn die letzteren sind die reciproken Werthe der ersteren.

Denken wir uns jetzt alle Übergangsempfindungen vom reinsten Schwarz bis zum reinsten Weiß auf der Geraden sw (Fig. 3) gelegen,

Fig. 3.



so daß der Endpunkt s dem reinsten Schwarz, der Endpunkt w dem reinsten Weiß und der Mittelpunkt m dem mittlen Grau entspricht. Auf dieser Geraden als Abscissenaxe können wir uns für jeden Punkt derselben, d. h. für jede schwarzweiße Empfindung, die Deutlichkeit des in derselben enthaltenen Weiß oder den Grad ihrer Verwandtschaft mit Weiß durch eine nach oben, den Grad ihrer Verwandtschaft mit Schwarz durch eine nach unten gehende Ordinate versinnlichen, so daß das Verhältniß der beiden Ordinaten dem Verhältnisse der beiden Verwandtschaftsgrade oder dem Mischungsverhältnisse von Weiß und Schwarz entspricht. Da hiebei auf die absolute Größe dieser + und — Ordinaten nichts ankommt, sondern nur ihr Verhältniß von Bedeutung ist, so können wir im Endpunkte s eine — Ordinate ss' von beliebiger Länge errichten, im Endpunkte w eine gleich lange + Ordinate ww', und s mit w', w mit s' durch

je eine Gerade verbinden. Legen wir nun durch einen beliebigen Punkt der Geraden *sw* eine Senkrechte, so wird sie von den Linien *sw'* und *ws'* geschnitten, und das Verhältniß der hiedurch bestimmten Ordinaten gibt uns das Verhältniß, welches in der entsprechenden Empfindung zwischen dem Schwarz und Weiß besteht. So entsprechen z. B. die auf der Linie *sw* markirten Punkte *d* und *h* den beiden oben erwähnten grauen Empfindungen, in welchen das Verhältniß zwischen Weiß und Schwarz gleich $\frac{1}{2}$ (ein Dunkelgrau), beziehungsweise $\frac{2}{1}$ (ein Hellgrau) ist.

Die Linie *sw'* versinnlicht uns also das Ansteigen der Deutlichkeit, mit welcher das Weiß in der Empfindung hervortritt, je weiter wir uns dem reinen Weiß nähern, die Linie *s'w* die entsprechende Abnahme der Deutlichkeit des Schwarz.

Übrigens aber versteht sich, daß jeder Punkt der Linie *sw* schon durch seine Lage auf derselben das Verhältniß $\frac{W}{S}$ darstellt, insofern das Verhältniß seiner Abstände von *s* und *w* immer dasselbe ist wie das der beiden in ihm errichteten Ordinaten, wobei sein Abstand von *w* der negativen, sein Abstand von *s* der positiven Ordinate entspricht.

Will man nur die sogenannte Helligkeit einer schwarzweißen Empfindung oder den Grad ihrer Verwandtschaft mit dem reinen Weiß numerisch bestimmen, so kann man dies dadurch, daß man den Antheil des Weiß an der gegebenen Empfindung durch das Verhältniß ausdrückt, in welchem die weiße Partialempfindung zur schwarzweißen Totalempfindung steht. Im mittlern Grau z. B. ist $W = S$, folglich das Verhältniß der Partialempfindung Weiß zur Totalempfindung Grau wie 0,5 : 1 oder kurzweg 0,5, da die Totalempfindung hier, weil es wieder nur auf Verhältnisse ankommt, immer gleich 1 gesetzt werden kann. Im oben erwähnten Hellgrau $\left(\frac{W}{S} = \frac{2}{1}\right)$ ist dann die Helligkeit $= 0{,}666\ldots$, im erwähnten Dunkelgrau $\left(\frac{W}{S} = \frac{1}{2}\right) = 0{,}333\ldots$, im idealen Weiß $= 1$, im idealen Schwarz $= 0$ zu setzen. In ganz entsprechender Weise läßt sich die Dunkelheit jeder schwarzweißen Empfindung oder der Grad ihrer Verwandtschaft mit dem reinen Schwarz bezeichnen, und man erhält dann für jede be-

liebige schwarzweiße Empfindung einen Dunkelheitswerth, welcher sich mit ihrem Helligkeitswerthe zu 1 ergänzt.

Setzen wir die Länge der Linie *sw* (Fig. 3) = 1, so entspricht für jede beliebige durch einen Punkt auf dieser Linie repräsentirte Empfindung der Abstand dieses Punktes von *s* dem Helligkeitsgrade, der Abstand von *w* dem Dunkelheitsgrade der Empfindung.

Wenn es nun auch in keinem Falle möglich ist, genau anzugeben, an welchen Punkt der Linie *sw* eine gegebene schwarzweiße Empfindung gehört, so sind wir doch im Stande die ungefähre Lage der Empfindung auf dieser Linie zu bestimmen. Die Hauptsache aber ist, daß die hier gegebene numerische und graphische Darstellung der ganzen Mannigfaltigkeit der zwischen Schwarz und Weiß gelegenen Empfindungen uns für die folgenden Untersuchungen von großem Werthe und ein treffliches Mittel zur Bezeichnung der Qualität, Helligkeit oder Dunkelheit dieser Empfindungen sein wird.

Für besonders wichtig halte ich es ferner, daß durch diese Art der Bezeichnung ganz anschaulich wird, in welchem Sinne man allein berechtigt ist, von einer Intensität oder Helligkeit der Lichtempfindung zu sprechen. Losgelöst von der Beziehung zu dem gleichzeitig empfundenen Schwarz oder Dunkel hat die Empfindung des Weißen oder Hellen keine reale Existenz. Denn das absolut reine Weiß ist uns wie gesagt unbekannt, und keine wirkliche Empfindung ist derart, daß wir behaupten könnten, eine noch weißere oder hellere d. h. noch besser von jeder Spur des Schattigen oder Dunkeln gereinigte Empfindung sei unmöglich.

§. 23.

Die Empfindung des eigentlichen Schwarz entsteht wie die des Weiß unter dem Einflusse des objectiven Lichtes.

Nach dem gemeinen Sprachgebrauche ist Schwarz ebenso gut eine Farbe wie Weiß, und man spricht von einem reinen Schwarz ebenso wie von einem reinen Weiß. Auch die Physiologie hat sich bereits dazu verstanden, das Schwarz als eine Empfindung zu bezeichnen, statt es, wie früher öfter geschah,

als die Abwesenheit jeder Lichtempfindung zu definiren, eine Definition, die ebenso unbrauchbar ist, wie die Definition des Grün als der Abwesenheit jeder Rothempfindung oder die Definition der Kugel als der Abwesenheit jedes andern Raumgebildes.

Wenn aber auch die heutige Physiologie zugibt, daß Schwarz eine „wirkliche" Empfindung sei, so ist sie doch keineswegs geneigt, diese Empfindung als eine dem Weiß, Grün, Roth etc. durchaus analoge Qualität der Gesichtsempfindung anzusehen, weil sie sich das Sehorgan bei der Empfindung des Schwarz im Zustande der Ruhe, bei den übrigen Gesichtsempfindungen aber im Zustande der Thätigkeit denkt. Gleichwohl ist es eine Thatsache der alltäglichen Erfahrung, welche ich jedoch noch nirgends besonders betont gefunden habe, daß die eigentlich schwarze Empfindung erst unter dem Einflusse des äußern Lichtreizes zu Stande kommt, wie ja auch die weiße Empfindung für gewöhnlich durch objectives Licht hervorgerufen wird; nur mit dem Unterschiede, daß sich die weiße Empfindung unter dem directen, die schwarze aber unter dem indirecten Einflusse des Lichtreizes entwickelt, nämlich durch den sogenannten simultanen oder successiven Contrast. Von pathologischen Zuständen des Sehorganes und von den Empfindungen im Traume sehe ich hierbei ab.

Man lege auf einen beliebigen Tisch ein Stück schwarzen Sammtes und stelle sich so davor, daß er nicht glänzend erscheint, dann wird man ein ziemlich tiefes Schwarz sehen. Nun schließe und verdecke man die Augen beliebig lange und vergleiche die Farbe des Gesichtsfeldes mit dem soeben gesehenen Schwarz: man wird zugeben müssen, daß die allerdings auch dunkle Farbe des Gesichtsfeldes dem Schwarz des Sammtes nicht nahe kommt, möge man die Augen noch so lange geschlossen halten.

Man gehe aus einem hellen Zimmer in ein ganz dunkles und man wird in den ersten Secunden vielleicht ein ziemliches Dunkel, wenn auch kein tiefes Schwarz empfinden, bald aber wird sich dasselbe mehr und mehr aufhellen, auch wenn keine Spur von Licht in das Dunkelzimmer fällt, und nach längerem Aufenthalte in demselben sieht man alles Mögliche, nur kein reines Schwarz.

Man gebe sich, wenn man in einer finstern Nacht in einem

dunklen Zimmer aus dem Schlafe erwacht, Rechenschaft von seiner Gesichtsempfindung, und man wird sagen müssen, daß dieselbe durchaus nicht schwarz sei, gleichviel ob man die Augen offen oder geschlossen hat. Genug, man erhält die Empfindung eines tief-dunklen Schwarz nur dann, wenn man daneben die des Hellen hat oder die letztere kurz zuvor an derselben Stelle hatte, am besten wenn beide Bedingungen zugleich erfüllt sind, wenn man also z. B. ein Stück weißes Papier auf ein größeres Stück schwarzen Sammtes legt, das Papier bei nicht zu greller Beleuchtung einige Zeit fixirt und dann auf den schwarzen Sammt blickt; an der Stelle des negativen Nachbildes erscheint dann der Sammt in besonders tiefem Schwarz.

Wenn man alle diese Thatsachen bedenkt, muß man sich wundern, wie man die Empfindung des Schwarzen als diejenige definiren konnte, welche der ruhenden, nicht durch Licht gereizten Netzhaut eigenthümlich ist. Gerade das Auge, welches vor jedem äußeren Lichtreize sorgfältig und so lange geschützt wurde, bis jede Nachwirkung der vorhergegangenen Erregung durch Licht verklungen ist, gerade dieses empfindet durchaus kein Schwarz, sondern hat Empfindungen, welchen man eine ziemlich bedeutende Helligkeit zuschreiben muß, und welche nach längerem Aufenthalte im absolut dunklen Raume dem Weiß fast ebenso nahe verwandt sind wie dem reinen Schwarz. Ich darf mich hier auch auf Aubert und dessen „Physiologie der Netzhaut“ berufen, ein durch die reiche Fülle interessanter und mit großer Objectivität geschilderter Beobachtungen ausgezeichnetes Werk.

Aubert sagt[1]): „Der Grund des Gesichtsfeldes erscheint bald nach dem Eintritt in das Finstere gleichmäßig dunkel, aber nicht tief schwarz; wenn ich mir schwarzen Sammt lebhaft vorstelle, so scheint mir der Grund des Gesichtsfeldes dagegen heller.“ Weiterhin beschreibt Aubert die mannigfachen subjectiven Lichterscheinungen (Lichtpunkte und Lichtlinien, wandelnde Nebelstreifen, Nebelballen etc.), welche er in dem Dunkelzimmer beobachtete, und sagt von denselben: „Diese Erscheinungen fangen schon in den ersten Minuten nach dem Eintritt in's Finstere an und dauern ununterbrochen fort; sie werden bald lebhafter, na-

[1]) Physiologie der Netzhaut. S. 333.

mentlich die wallenden Nebel und der centrale helle Nebel sowie die Helligkeit des Grundes, bald matter, scheinen aber nach mehr als dreistündigem Aufenthalte immer eine große Lebhaftigkeit zu erreichen."

Die jetzt üblichen, mit den Thatsachen so wenig in Einklang stehenden Ansichten über das Schwarz erklären sich daraus, daß man erstens bei der Untersuchung der Gesichtsempfindungen sich nicht zunächst lediglich an diese hielt, sondern sogleich ihre physikalischen Ursachen mit hineinzog, daher denn die Empfindung des Weißen oder Hellen, weil sie meist durch äußeres Licht erzeugt wird, als etwas Positives der Empfindung des Schwarzen als etwas Negativem entgegengestellt wurde; und zweitens daraus, daß spiritualistische Hypothesen in die Empfindungslehre eingemengt wurden. Man bemerkte wohl, daß die Empfindung des vor äußerem Lichte geschützten Auges kein eigentliches Schwarz sei, man betonte sogar den „innern Lichtnebel", legte aber doch auf die höchst bemerkenswerthe Thatsache, daß man ein tiefes Schwarz im Allgemeinen nur im erleuchteten Raume sieht, weiter kein Gewicht, weil man meinte, dieses tiefe Schwarz sei nur eine durch simultane Contrastwirkung erzeugte Täuschung und existire hier nur in der Vorstellung, nicht aber als eigentliche Empfindung. Nur das durch successiven Contrast entstandene Schwarz ließ man als eine, dem Zustande der Netzhaut wirklich entsprechende und nicht blos durch falsche Schlüsse vorgetäuschte Empfindung gelten, weil man annahm, daß die ermüdete Netzhaut ein geringeres Eigenlicht und daher ein reineres Schwarz zur Empfindung bringen müsse, als die nicht ermüdete. Hierbei aber übersah man, daß man bei blos successivem Contraste, z. B. also nach längerer Betrachtung eines hellen Objectes auf dunklerem Grunde, im geschlossenen Auge kein Schwarz sieht, welches an Tiefe dem irgend gleich kommt, welches man sieht, wenn man im erleuchteten Raume das negative Nachbild eines hellen Objectes auf einer begrenzten dunklen Fläche sich entwickeln läßt, daß also die Netzhaut partiell beleuchtet sein muß, wenn sie das tiefste Schwarz empfinden soll.

Die im Gesichtsfelde des verdunkelten Auges ausgebreitete Empfindung hat man sich zeither vorgestellt wie eine schwarze,

in der menschlichen Seele aufgestellte Tafel, auf welcher dann durch äußeres Licht oder durch innere Reize weiße und bunte Bilder gemalt und wieder weggewischt werden. Je dicker das Weiß und die Farben aufgetragen werden, desto heller erscheint das Weiß, desto gesättigter die Farben und desto weniger scheint der schwarze Grund durch. Im Übrigen hat man sich um diese schwarze Tafel nicht weiter gekümmert, sondern nur die Bilder auf derselben studirt.

Nun lehrt aber die unbefangene Analyse der Gesichtsempfindungen, daß das Schwarz oder Dunkel ganz ebenso variabel ist, als das Weiß oder Hell, und daß die eine Empfindung durchaus dieselbe Berücksichtigung verdient wie die andere. Bedenkt man dazu, daß, wie soeben gezeigt wurde, nicht blos die weiße sondern auch die schwarze Empfindung eine Function der Beleuchtung der Netzhaut ist, so ergibt sich die Nothwendigkeit, dem psychophysischen Zustande oder Processe, welcher der Empfindung des Schwarzen entspricht, dasselbe Interesse zuzuwenden, wie dem andern, welcher die Empfindung des Hellen bedingt.

§. 24.
Über Hell und Dunkel, verglichen mit Weiß und Schwarz.

Mit Absicht habe ich im Obigen die Worte Weiß und Hell, Schwarz und Dunkel als ganz gleichwerthige benützt, obwohl sie dies nach dem Sprachgebrauche nicht durchaus sind. Treffend bemerkt Helmholtz,[1]) daß wir immer „die Neigung haben zu trennen, was in der Farbe oder dem Aussehen eines Körpers von der Beleuchtung und was von der Eigenthümlichkeit des Körpers selbst herrührt“. Dem entsprechend pflegen wir die Worte hell und licht, dunkel und finster vorherrschend, wenn auch durchaus nicht immer, in Bezug auf die Art der Beleuchtung, die Worte weiß, grau und schwarz in Bezug auf die Eigenschaften der so erscheinenden Außendinge anzuwenden.

Wenn auf einen Theil eines weißen Papiers ein Schatten fällt, so nennen wir den beschatteten Theil nicht grau, sondern dunkler, obwohl das Licht, welches er aussendet, genau dieselbe

[1]) Physiol. Optik. S. 287.

Intensität und Zusammensetzung haben kann, wie das von einem grauen Papiere ausgehende; und wenn wir auf ein graues Papier mittelst eines spiegelnden Körpers reflectirtes Licht fallen lassen, so nennen wir die hellere Stelle des Papiers nicht weiß, sondern nur heller, obwohl sie vielleicht genau dasselbe Licht gibt, wie ein daneben liegendes weißes Papier. Der Verschiedenheit der Bezeichnung entspricht hierbei eine Verschiedenheit der Wahrnehmung. Das Dunkel, welches im Grau gesehen wird, ist mit dem gleichzeitig darin enthaltenen Weiß vollständig zu einer Empfindung besonderer Qualität verschmolzen; das Dunkel aber, welches als Schatten auf dem Weiß erscheint, wird als ein besonderes, über dem Weiß liegendes Etwas aufgefaßt, durch welches hindurch wir noch das Weiß zu sehen meinen. Analog verhält es sich mit einem auf grauem Papiere mittelst eines Spiegels erzeugten helleren Flecke, insofern hier das Helle, welches zu dem schon vorhandenen Grau hinzukommt, mit diesem nicht zu einem helleren Grau oder zu Weiß verschmilzt, sondern gesondert als blosses Licht aufgefaßt wird, welches dem Grau äußerlich aufliegt, und unter welchem wir noch das Grau zu sehen meinen.

Solche Fälle, in denen der gleiche Reiz je nach den Nebenumständen zu ganz verschiedenen Wahrnehmungen führt, sind auf den verschiedenen Sinnesgebieten bekanntlich sehr häufig, und man pflegt zu sagen, daß dabei die „Empfindung“ eine verschiedene „Auslegung“ erfahre, oder daß das gegebene Empfindungsmaterial durch unbewußte Schlüsse zu verschiedenen „Vorstellungen“ verarbeitet werde. Hiebei wird offen oder versteckt die Annahme gemacht, daß die Empfindung etwas mehr Körperliches, die Auslegung der Empfindung oder die Verarbeitung derselben zu Vorstellungen etwas mehr Geistiges sei. Diese Annahme aber ist vom Standpunkte der Physiologie entschieden zurückzuweisen, denn sie führt dazu, die ganze Mannigfaltigkeit der psychischen Processe in zwei große Classen zu theilen, nämlich in solche, welche direct und unmittelbar, und in solche, welche nur mittelbar von den Zuständen des Nervensystems abhängig und daher mehr als Producte einer freien Geistesthätigkeit anzusehen sind. Es entspricht diese Theilung des gesammten psychischen Materiales ungefähr der alten Unterscheidung von

Seele und Geist. Sie ist der Ausfluß eines Spiritualismus, welcher sich mit der Physiologie abzufinden sucht, indem er derselben die „reinen Empfindungen“ opfert, dafür aber die „Vorstellungen“ ganz für sich und den Geist reservirt wissen will.

Wenn ich mich oben dahin aussprach, daß dasselbe objective Licht je nach den Nebenumständen bald als eine Eigenschaft (Farbe) der Aussendinge, bald aber als Licht oder Dunkel (Schatten, Finsterniß) wahrgenommen werden könne, so wollte ich damit nicht gesagt haben, daß trotz dieser verschiedenen Wahrnehmung doch die Empfindung, entsprechend der Gleichheit des Reizes, in beiden Fällen dieselbe sei. Vielmehr meine ich, daß die Empfindung in beiden Fällen wesentlich verschieden ist, was trotz gleichem Reize deshalb möglich ist, weil die Lichtempfindung nicht blos eine Function des Reizes und der jeweiligen Beschaffenheit der zunächst getroffenen nervösen Theile ist, sondern auch mit abhängt von der Beschaffenheit der zum Sehact in Beziehung stehenden Hirntheile, in welchen die optischen Erfahrungen des ganzen Lebens gleichsam organisirt enthalten sind. Wie der Klang, welchen ein Clavier gibt, wenn man eine Taste desselben anschlägt, nicht blos abhängt von den Schwingungen der Saiten, welche der Schlag direct trifft, sondern auch von der Resonanz des ganzen Instrumentes, was bei aufgehobener Dämpfung am offenbarsten, aber auch sonst immer der Fall ist: so ist auch die Empfindung, welche ein äußerer Reiz in uns erweckt, nicht blos abhängig von der Nervenfaser, welche zunächst vom Reize getroffen wird, sondern ist zugleich das Ergebniß der Resonanz unseres ganzen Sensoriums. Ein scheinbar unbedeutender Nebenumstand hebt gleichsam den Dämpfer von gewissen Saiten ab und läßt sie mit anklingen, so daß der Charakter der Empfindung ein wesentlich anderer wird.

Es ist richtig, daß diese große Resonanzfähigkeit unseres Gehirns die Untersuchung der Beziehungen zwischen Reiz und Empfindung ausserordentlich erschwert, und wir vermögen uns nur dadurch einigermaßen zu helfen, daß wir unter den möglichst einfachen Bedingungen beobachten und nur solche Empfindungen vergleichen, welche unter annähernd gleichen Bedingungen gewonnen wurden. Angewendet auf unsern besondern Fall bedeutet diese Regel, daß wir zunächst nur solche Gesichtsem-

pfindungen mit einander vergleichen sollen, welche in analoger Weise von uns „ausgelegt“ werden. Wir dürfen also, wenn es sich um die Gleichheit oder den Unterschied zweier Helligkeiten oder Dunkelheiten handelt, nicht ein als Licht empfundenes Hell oder ein als Schatten oder Finsterniß empfundenes Dunkel vergleichen mit einem als Körperfarbe empfundenen Weiß, Grau oder Schwarz.

Da es viel schwieriger ist, scharf begrenzte Schatten oder Lichter von beliebiger Form und Helligkeit oder Dunkelheit zu erzeugen, so habe ich die handgreiflichsten Erscheinungen der Induction und des Contrastes auf Grund von Versuchen mit weißem, grauem und schwarzem Papier beschrieben. Aber alle diese Versuche lassen sich auch auf weißen oder grauen Flächen mit Hilfe darauf geworfener Lichter oder Schatten anstellen, und deshalb war es gestattet, Weiß und Hell, Schwarz und Dunkel zunächst als für unsere Versuche gleichwerthig anzusehen, und dies um so mehr, als ich überall das Hauptgewicht auf die im geschlossenen und verdunkelten Auge beobachteten Nachempfindungen gelegt habe, bei welchen es einen Unterschied zwischen Licht, Hell und Weiß, oder zwischen Finster, Dunkel und Schwarz nicht mehr gibt.

Dies alles gilt jedoch nur von den farblosen Empfindungen; denn die Helligkeit oder Dunkelheit einer farbigen Empfindung hängt nicht lediglich von dem Verhältnisse des in ihr mit enthaltenen Schwarz und Weiß ab.

Um Mißverständnisse zu vermeiden, war ich zu dieser kurzen und deshalb vielleicht oberflächlich scheinenden Erörterung genöthigt. Der in diesem Paragraphen besprochene Gegenstand erfordert freilich eine viel ausführlichere, gründlichere Besprechung, die ich später auch zu geben gedenke. Hier wollte ich nur meinen Standpunkt in dieser Frage kurz bezeichnen.

Fünfte Mittheilung.

Grundzüge einer Theorie des Lichtsinnes.

(Vorgelegt in der Sitzung am 23. April 1874.)

§. 25.

Vorbemerkungen.

Obwohl eine Theorie des Lichtsinnes eigentlich alle Gesichtsempfindungen zu berücksichtigen hat, will ich doch hier zunächst nur die Empfindungen des Weiß, Schwarz und der Übergänge vom einen zum anderen in Betracht ziehen, also nur die nicht farbigen oder, wie ich sie in §. 21 genannt habe, schwarzweißen Empfindungen. Später werde ich dann die Farbenempfindungen im engeren Sinne einer gesonderten Erörterung unterwerfen.

Freilich mischen sich allenthalben und besonders in den Nachbildern des geschlossenen Auges die Farben mit ein, aber ich werde bei allen solchen mehr oder minder deutlich gefärbten Empfindungen von der Farbe ganz absehen und mich nur an das halten, was man als Weißlichkeit oder Schwärzlichkeit der Empfindung bezeichnen kann. Später wird sich zeigen, daß diese gesonderte Betrachtung der nicht farbigen Gesichtsempfindungen auch ihre volle theoretische Berechtigung hat.

Man hat die weiße oder farblose Lichtempfindung als eine Mischempfindung auffassen wollen, weil sie durch die gleichzeitige Einwirkung sogenannter complementärer Lichtarten auf die Netzhaut hervorgerufen wird. Da man indessen im Weiß weder Gelb und Blau, noch Roth und Grün, noch sonst zwei complementäre Farben zugleich sieht, sondern das Weiß höchstens in Gelb *oder* Blau, Roth *oder* Grün, nie aber in zwei Complementärfarben gleichzeitig spielt, so erscheint die Bezeichnung des Weiß als einer aus Roth und Grün, oder Gelb und Blau, oder aus allen Farben zugleich gemischten Empfindung unzu-

lässig und ist in der That nur aus der begrifflichen Vermengung der Empfindungen mit ihren physikalischen Ursachen entstanden. Auch hat nicht Jeder, der das Weiß als eine gemischte Empfindung bezeichnete, damit sagen wollen, daß hier wirklich Empfindungen gemischt seien, sondern nur, daß man, um die Empfindung des Weißen zu erzeugen, Licht von verschiedener Wellenlänge mischen müsse. Diese aus der gleichzeitigen Einwirkung mehrerer Strahlenarten erzeugte Empfindung kann sehr wohl als eine einfache Resultante mehrfacher physikalischer Ursachen angesehen werden.

Auch die Young-Helmholtz'sche Hypothese ließe sich nur in diesem Sinne einigermaßen annehmbar finden. Denn wenn man einem Unbefangenen, und hätte er auch z. B. als Maler einen hochentwickelten Farbensinn, sagen wollte, Weiß sei eine zusammengesetzte Empfindung, in welcher man zugleich Roth, Grün und Violett und zwar alle drei gleich stark empfinde, so würde er mit einem ungläubigen Kopfschütteln, oder wenn er vor der Zuverlässigkeit der Wissenschaft keine besondere Hochachtung fühlte, mit einem Lächeln antworten. Daß in einem Dreiklange drei Töne von verschiedener Höhe enthalten sind, hört Jeder, der auch nur einigermaßen musikalisch geübt ist, aber aus einem und demselben Weiß das Roth, Grün und Violett herauszuempfinden, ist beim besten Willen Niemand im Stande.

Für den, der ohne physikalische oder physiologische Voraussetzungen an die Untersuchung seiner Gesichtsempfindungen geht, ist Weiß eine Empfindung eigener Art, ebenso wie Schwarz, Roth, Grün, Gelb und Blau. Es kann dem Weiß von der einen oder andern, oder auch von mehreren der letztgenannten Empfindungen etwas beigemischt sein, so daß es an dieselben mehr oder minder deutlich erinnert; aber wenn wir uns diese beigemischten Spuren anderer Empfindungen wegdenken, so bleibt eine Empfindung von ganz eigenartiger, reiner Qualität zurück, welche durchaus den Eindruck des Einfachen macht und welche als etwas Zusammengesetztes aufzufassen der Unbefangene gar keine Veranlassung findet. Ganz dasselbe gilt aber auch von der Empfindung des Schwarzen.

Da sich der Physiolog alle Empfindungen als bedingt und getragen von physischen Processen des Nervensystems denken

muß, weil sonst jede weitere physiologische Untersuchung zwecklos wäre, so muß er auch sogenannte psychophysische Processe oder Bewegungen annehmen, welche den Empfindungen des Schwarzen, des Weißen und aller Übergänge zwischen beiden entsprechen. In welchem Theile des Nervensystems diese psychophysischen Processe localisirt zu denken sind, läßt sich noch nicht sagen. Genug, es muß irgendwo im nervösen Apparate des Auges und den damit in functioneller Beziehung stehenden Hirntheilen die Substanz gesucht werden, mit deren Veränderung oder Bewegung die Empfindung verknüpft ist. Diese Substanz könnten wir als die psychophysische Substanz des Sehorganes beziehentlich des Gehirns bezeichnen. Kürzer wird es sein, sie als Sehsubstanz zu benennen, weil die Gesichtsempfindungen an sie gebunden und unmittelbar durch sie gegeben sind. Ob diese Sehsubstanz nur im Gehirn oder zugleich im Sehnerven und in der Netzhaut, und in welchen histologischen Bestandtheilen derselben sie zu suchen ist, dies alles bleibt vorerst dahingestellt.

Es ist ersichtlich, daß wir aus der Art und dem Verlaufe unserer Gesichtsempfindungen zunächst nur Schlüsse machen können auf den Verlauf der psychophysischen Processe, welche in der Sehsubstanz ablaufen; denn mit diesen sind die Empfindungen unmittelbar und gesetzmäßig verknüpft zu denken. Können wir auf diese Weise die Gesetze des psychophysischen Geschehens in der Sehsubstanz bis zu einem gewissen Grade feststellen, so ist es dann erst an der Zeit, die Gesetze des functionellen Zusammenhanges zwischen jenen psychophysischen Processen und den Aetherschwingungen zu suchen. Der umgekehrte Weg, welcher von den Aetherschwingungen ausgeht, hat bis jetzt, so weit es sich nicht blos um die Schicksale der Lichtstrahlen in den optischen Medien, also lediglich um eine Application der physikalischen Optik auf's Auge handelte, noch zu keinem Ergebnisse geführt; wir wissen gar nicht, was weiter geschieht, wenn einmal die Lichtwellen in die Netzhaut eingedrungen sind. Dagegen haben wir allerdings durch zahlreiche physikalische Untersuchungen die werthvollsten Aufschlüsse über die Beziehungen zwischen Ätherschwingungen und Lichtempfindungen erhalten. Aber hierbei wurden, und zwar vorerst ganz zweckmäßigerweise,

alle physiologischen Mittelglieder und insbesondere die psychophysischen Processe einfach übersprungen.

Nur die psychophysischen Untersuchungen, insbesondere Fechner's, nehmen eingehendere Rücksicht auf die physiologischen Zwischenglieder, besonders insofern als Fechner ein Gesetz der functionellen Beziehung zwischen der psychophysischen Bewegung und der sogenannten Intensität der Empfindungen aufstellte, das nach ihm benannte psychophysische Gesetz, dessen Giltigkeit ich aber nicht blos für den Gesichtssinn, sondern für alle Sinnesgebiete bestreiten muß.

§. 26.

Vom Wesen der psychophysischen Processe.

Wenn man sich von der Natur der psychophysischen Processe eine Vorstellung machen will, so hat man von vornherein die Wahl zwischen solchen inneren Bewegungen der psychophysischen oder kurzweg psychischen Substanz, welche ohne Änderung der chemischen Zusammensetzung ablaufen, und solchen Bewegungen, welche sich zugleich als Änderungen der chemischen Zusammensetzung darstellen. Der Physiolog der Gegenwart kann jedoch nicht mehr in Zweifel sein, wofür er sich zu entscheiden hat. Denn die allgemeine Nervenphysiologie hat hinreichend erwiesen, daß jede Bewegung oder Thätigkeit der nervösen Substanz dieselbe zugleich chemisch alterirt, und auf die Annahme chemischer Änderungen stützen sich alle unsere Vorstellungen von der Erregbarkeitsänderung, Ermüdung und Wiedererholung nach der Thätigkeit.

Wie Du Bois-Reymond eine rein physikalische Hypothese über die Vorgänge in der Nervenfaser aufstellen konnte, wird dadurch begreiflich, daß er im Grunde nur auf die Erklärung dessen ausging, was ihm der Multiplicator über die Vorgänge im Nerven aussagte. Hätte er für die Veränderungen des Nerven ein so feines chemisches Reagens gehabt, wie er im Multiplicator ein elektrisches besaß, so hätte er eben eine chemische Hypothese gemacht. Einen triftigen Einwand gegen meine Behauptung, daß sich nach unseren jetzigen Kenntnissen die Thätigkeit der psychophysischen Substanz nicht gut ohne gleichzeitige chemische

Änderungen denken läßt, bildet die Hypothese Du Bois-Reymond's jedenfalls nicht.

Auch die in Fechner's Psychophysik entwickelte Hypothese, nach welcher alle psychophysischen Processe als oscillatorische Bewegungen einer nicht genauer zu bezeichnenden wägbaren oder unwägbaren Substanz aufgefaßt werden, darf nicht gegen obige Behauptuug angeführt werden. Denn erstens steht diese Hypothese der ganzen Natur der Sache nach bis jetzt nur auf einer schmalen empirischen Basis, und zweitens läßt dieselbe, obwohl sie eine rein mechanische ist, doch den chemischen Processen ihre Bedeutung für das psychische Geschehen und nimmt dieselben gleichsam mit in sich auf.

Wie man sich auch zu diesen Fragen stellen mag, soviel ist sicher, daß das fortwährende Vorhandensein chemischer Processe in jeder lebendigen und daher reizbaren Substanz eine Thatsache, und der Stoffwechsel die allgemeinste uns bekannte Eigenschaft des Lebendigen ist.

Dies zum Nachweise der principiellen Berechtigung der folgenden Theorie, welche zunächst an das chemische Geschehen in der Nervensubstanz anknüpft. Eine bestimmte Ansicht darüber, ob wir in diesem chemischen Geschehen wirklich die eigentliche psychophysische Bewegung erfassen, oder ob sich noch ein Mittelglied zwischen diese und die Empfindung gleichsam einschiebt, will ich für diesmal nicht ausgesprochen haben. Auch wollte ich mit dieser kurzen Auseinandersetzung durchaus nicht eine eigentliche Untersuchung der schwierigen Frage nach der Natur der psychophysischen Bewegung geben, sondern nur zeigen, daß der Physiolog volles Recht hat, das Leben der Nervensubstanz zunächst als ein chemisches aufzufassen, und ebenso das der psychophysischen Substanz, welche ja, wenn man nicht ein neues, völlig unbekanntes Mittelglied einschieben will, ganz oder theilweise mit der Nervensubstanz identificirt werden muß.

§. 27.

Die Gesichtsempfindung als psychisches Correlat der chemischen Vorgänge in der Sehsubstanz.

Daß das Licht im nervösen Apparate des Sehorganes chemische Veränderungen erzeugt, dürfte nach dem Gesagten wohl

nicht bestritten werden. Was man Ermüdung und überhaupt Erregbarkeitsveränderung dieses Apparates nennt, beruht ja nach der allgemeinen Ansicht hier wie überall auf chemischer Veränderung der erregbaren Substanz. Selbst Fechner, welcher die von den Physikern Herschel, Melloni und Seebeck für die Erregung der Netzhaut durch Licht aufgestellte Resonanztheorie weiter zu entwickeln suchte, sah sich veranlaßt, der chemischen Einwirkungen des Lichtes auf die Nervensubstanz zu gedenken und sie mit einzurechnen.[1])

Die durch das Licht im Sehorgane erweckten chemischen Vorgänge dachte man sich zunächst in der Netzhaut localisirt. Wenn aber gewisse Hirntheile an der Herstellung der Gesichtsempfindungen und -vorstellungen mit betheiligt sind, so müssen jene chemischen Vorgänge der Netzhaut ihrerseits wieder in der Substanz des Sehnerven chemische Änderungen hervorrufen, und diese wieder in der Hirnsubstanz. Weil wir aber, wie schon gesagt, nicht wissen, ob wir die ganze nervöse Substanz des Sehorganes, oder nur einen Theil derselben, und letztern Falls, welchen Theil wir als die eigentliche psychophysische Sehsubstanz anzusehen haben, so müssen wir uns vorerst mit der allgemeinen Annahme begnügen, daß die Ätherschwingungen im nervösen Sehapparate überhaupt chemische Änderungen auslösen, welche, mag die Kette dieser chemischen Processe lang oder kurz, aus gleichartigen oder ungleichartigen Gliedern zusammengesetzt sein, schließlich zur Empfindung führen.

Was man sich übrigens auch zeither für Vorstellungen über Art und Ort der im Sehorgane ablaufenden Processe machte, ein Mangel war allen gemeinsam: immer dachte man sich nur die Empfindungen des Hellen oder Weißen — von der Farbe will ich, wie gesagt, ganz absehen — als bedingt und getragen von gewissen Änderungen der Sehsubstanz; die Empfindung des Dunklen oder Schwarzen wurde in Betreff ihres physiologischen oder psychophysischen Correlates ganz vernachlässigt. Wie dies kam, und zu welchen Widersprüchen überhaupt die einseitige Berücksichtigung der Helligkeitsempfindung führte, habe ich in meiner vorigen Mittheilung (§§. 21 — 23) ausführlicher auseinander-

[1]) Psychophysik, II. Theil, S. 283.

gesetzt. Die dort entwickelten Thatsachen zwingen uns nunmehr, dieses einseitige Verhalten bei der Untersuchung der Gesichtsempfindungen aufzugeben, und beiden Hauptvariablen der Gesichtsempfindung, dem Dunklen oder Schwarzen ebensowohl wie dem Hellen oder Weißen, die gleiche Berücksichtigung zu schenken.

Ich habe in §. 21 dargelegt, wie alle Empfindungen der schwarzweißen Empfindungsreihe in zweifacher Weise untereinander verwandt erscheinen, zweierlei Momente gemeinsam haben, nämlich die Helligkeits- und die Dunkelheitsempfindung, das Schwarz und das Weiß; und wie ferner jedes Glied dieser Empfindungsreihe sich charakterisiren läßt durch das Verhältniß, in welchem diese beiden Momente in der gegebenen Empfindung enthalten sind. Wenn wir nun nach dem physischen Correlate jener Empfindungen, nach den ihnen zu Grunde liegenden psychophysischen oder psychochemischen Processen fragen, so hat die Annahme, daß das physische Correlat der schwärzesten Empfindung nichts weiter sei, als der niederste Intensitätsgrad desselben Processes, welcher in seiner höchsten Intensität die hellste oder reinste weiße Empfindung bedingt, nicht nur nichts für sich, sondern erscheint sogar als ungemäß und widerspruchsvoll. Denn diese Annahme fordert für zwei offenbar grundverschiedene Qualitäten der Empfindung eine und dieselbe Art des psychophysischen Processes. Unsere ganze Psychophysik fußt aber auf der Annahme, daß zwischen physischem und psychischem Geschehen ein gewisser Parallelismus bestehe, und daß insbesondere verschiedenen Qualitäten der Empfindung auch verschiedene Qualitäten oder Formen des psychophysischen Geschehens entsprechen.[1])

---

[1]) Obwohl sich dies eigentlich für jeden, der eine gesetzmäßige functionelle Beziehung zwischen Psychischem und Physischem, Empfindung und Nervenproceß annimmt, von selbst verstehen sollte, ist es doch vielfach außer Acht gelassen worden, und selbst Fechner, obwohl er von derselben Voraussetzung geleitet wird, macht doch, wie mir scheint, zu wenig Anwendung von derselben. Mach bezeichnet diese Grundvoraussetzung der ganzen Psychophysik blos als „ein heuristisches Princip der psychophysischen Forschung"; aber sie ist mehr, sie ist die conditio sine qua non aller solchen Forschung, wenn sie Früchte tragen soll. Mach bemerkt (Über d. Wirk. d. räuml. Vertheil. d. Lichtreizes auf die Netzhaut.

Wenn wir also nicht gleich beim ersten Schritte in dies schwierige Gebiet eine Hypothese einführen wollen, welche mit der Grundvoraussetzung der ganzen Psychophysik in einem noch ungelösten Widerspruche steht und jedenfalls für andere ganz willkürliche und theoretisch unwahrscheinliche Annahmen ein schlimmes Präcedens gibt, so müssen wir die jetzt übliche Ansicht aufgeben, und wir können dies um so leichter als sich eine andere Hypothese bietet, welche mit der erwähnten Voraussetzung der Psychophysik durchaus im Einklange ist und zugleich den Forderungen, welche vom Standpunkte der allgemeinen Nervenphysiologie an solche Hypothesen gestellt werden dürfen, weit besser genügt, als die jetzige Theorie. Diese Annahme aber ist folgende:

Den beiden Qualitäten der Empfindung, welche wir als Weiß oder Hell und als Schwarz oder Dunkel bezeichnen, entsprechen zwei verschiedene Qualitäten des chemischen Geschehens in der Sehsubstanz, und den verschiedenen Verhältnissen der Deutlichkeit oder Intensität, mit welcher jene beiden Empfindungen in den einzelnen Übergängen zwischen reinem Weiß und reinem Schwarz hervortreten, oder den Verhältnissen, in welchen sie gemischt erscheinen, entsprechen dieselben Verhältnisse der Intensitäten jener beiden psychophysischen Processe.

Sitzungsber. d. Akad., 52. Bd., 1868): „Jedem Psychischen entspricht ein Physisches und umgekehrt. Gleichen psychischen Processen entsprechen gleiche physische, ungleichen ungleiche. Wenn ein psychischer Vorgang sich auf rein psychologischem Wege in eine Mehrheit von Qualitäten a, b, c auflösen läßt, so entsprechen diesem eine ebenso große Zahl verschiedener physischer Processe α, β, γ. Allen Details des Psychischen correspondiren Details des Physischen.“ Wenn ich davon absehe, daß hierbei keine Rücksicht darauf genommen ist, daß psychophysische Processe von sehr verschiedener Größe dieselbe Empfindung geben können, weil es überall nicht auf die absolute Größe dieser Processe, sondern lediglich auf ihr gegenseitiges Verhältniß ankommt (vergl. §. 29), so kann ich diesen Worten Mach's vollständig beipflichten.

Auf demselben Princip beruhte schon meine Theorie des Raumsinnes der Netzhaut. Mach ist der Einzige, welcher dem Grundgedanken derselben beigepflichtet hat.

Man wird nach einiger Überlegung gerne zugestehen, daß diese Annahme die einfachste überhaupt mögliche ist, weil sie die denkbar einfachste Formel für den functionellen Zusammenhang zwischen physischem und psychischem Geschehen setzt.

Aber sie genügt auch allen Anforderungen, welche die allgemeine Nervenphysiologie stellen kann. Wir müssen im nervösen Sehapparate eine Substanz annehmen, welche unter dem Einflusse des einfallenden Lichtes eine Änderung erleidet, und diese Änderung, möge sie sich physikalisch charakterisiren lassen, wie sie wolle, ist doch, wie die Nervenphysiologie annehmen muß, zugleich ein chemischer Vorgang. Hat die Einwirkung des Lichtes aufgehört, so kehrt die veränderte (mehr oder minder „ermüdete") Substanz früher oder später in ihren ursprünglichen Zustand zurück. Diese Rückkehr kann wieder nichts anderes sein, als eine chemische Änderung in entgegengesetzter Richtung. Will man die unter dem directen Einflusse des Lichtes stattfindende chemische Veränderung der erregbaren Substanz als eine partielle Consumtion auffassen, so muß man die Rückkehr zur früheren Beschaffenheit als eine Restitution bezeichnen, will man erstere als einen Spaltungsproceß, so muß man letztere als einen synthetischen Proceß ansehen etc.

Den letzteren Proceß, durch welchen die lebendige organische Substanz den durch Erregung oder Thätigkeit erlittenen Verlust wieder ersetzt, pflegt man auch als Assimilirung zu bezeichnen und ich will diesen Ausdruck beibehalten. Bei der Erregung oder Thätigkeit bildet nun jede lebendige und erregbare organische Substanz nach allgemeiner Annahme gewisse chemische Producte. Das Entstehen dieser Producte will ich analog als den Proceß der Dissimilirung bezeichnen.

Die soeben ausgesprochenen Sätze über Assimilirung (A) und Dissimilirung (D) der organischen Substanz sind den Erfahrungen der allgemeinen Physiologie und der Nervenphysiologie insbesondere entnommen und haben sich also ganz unabhängig von unserer Hypothese entwickelt. Ihre Richtigkeit vorausgesetzt, ist durchaus nicht einzusehen, warum blos die eine Art des chemischen Geschehens in der Sehsubstanz, nämlich der Dissimilirungsproceß, eine psychophysische Bedeutung haben soll, die andere, der Assimilirungsproceß, aber nicht. Die übliche Ansicht,

daß nur der unter dem directen Einflusse des Lichtes stattfindende chemische Proceß, die Dissimilirung, empfunden werde, ist offenbar einseitig und ungerechtfertigt; dagegen erscheint es von vornherein angemessen, beiden Arten des chemischen Processes gleich großen Werth für die Empfindung zuzuschreiben. Dies führt aber zu nichts anderem, als zu der oben aufgestellten Hypothese. Denn wir brauchen dieselbe nur noch dahin zu präcisiren, daß der Empfindung des Weißen oder Hellen die Dissimilirung, der Empfindung des Schwarzen oder Dunklen die Assimilirung der Sehsubstanz entspricht, und die Hypothese genügt dann, wie ich zeigen werde, nicht nur den Thatsachen der Empfindung, sondern auch den Anforderungen der allgemeinen Nervenphysiologie.

Wenn meine Hypothese richtig ist, so haben wir in den Gesichtsempfindungen ein Mittel, den Ernährungsproceß der Sehsubstanz und seine zwei Hauptfactoren, die Dissimilirung und Assimilirung, genau zu beobachten. Nicht also handelt es sich fortan nur darum, daß vom Auge dem menschlichen Geiste ein Complex von Empfindungen übergeben wird, die derselbe dann mit Hilfe richtiger und falscher Urtheile oder Schlüsse zu Vorstellungen verarbeitet, sondern was uns als Gesichtsempfindung zum Bewußtsein kommt, ist der psychische Ausdruck oder das bewußte Correlat des Stoffwechsels der Sehsubstanz.

Für diesen Stoffwechsel haben wir also ein Reagens von großer Empfindlichkeit, nämlich unser Bewußtsein. Freilich, über die Art der chemischen Verbindungen oder Zersetzungen sagt es uns zunächst noch nichts aus, wohl aber verräth es uns den ganzen zeitlichen Verlauf der Assimilirung und Dissimilirung, das Gesetz ihrer Abhängigkeit von einander und von den Ätherschwingungen, das Steigen und Sinken der Erregbarkeit der Sehsubstanz und die Abhängigkeit dieser Erregbarkeitsänderungen von der Dissimilirung und Assimilirung. So erst wird das Capitel von den Gesichtsempfindungen zu einem wahrhaft integrirenden Abschnitte der Physiologie, während es bisher nothwendigerweise mehr physikalische und philosophische Erörterungen enthielt, als eigentlich physiologische.

Auf Grund obiger Hypothese kommen wir, wie das Folgende lehren wird, zu einer ganzen Reihe von Sätzen über Ermüdung, Erregbarkeit und Stoffwechsel der Sehsubstanz, welche mit gewissen Sätzen der allgemeinen Nervenphysiologie in Einklang stehen; wir gelangen aber auch dazu, diesen Sätzen zum Theil einen schärferen Ausdruck zu geben, sowie gewisse neue Sätze, die sich als Consequenz unserer Hypothese ergeben, auch an anderen erregbaren Substanzen zu prüfen, kurzum es erschließt sich ein Weg zur Fortentwicklung der allgemeinen Nervenphysiologie, weiterhin der Physiologie der „erregbaren" Substanzen, und in letzter Instanz der Lehre vom organischen Leben überhaupt. Daß dieser Weg nicht unfruchtbar ist, hoffe ich in späteren Mittheilungen über verschiedene Capitel der Physiologie darzuthun.

Wir haben unsere Sinnesempfindungen so ausgiebig benützt, um unsere Außenwelt zu erkennen und sie uns dienstbar zu machen, benützen wir sie nun auch, um das stoffliche Geschehen unseres eigenen Körpers zu erforschen, indem wir mit ihrer Hilfe zuvörderst das untersuchen, was wir nicht, wie die Außendinge, nur mittelbar, sondern unmittelbar empfinden, nämlich den Stoffwechsel unseres Nervensystems.

§. 28.

Ableitung einiger Folgesätze.

In meiner vierten Mittheilung war ich durch eine von jeder physikalischen oder physiologischen Voraussetzung unabhängige Analyse der Gesichtsempfindungen zu dem Satze gelangt, daß jede farblose Gesichtsempfindung bestimmt ist durch das Verhältniß des in ihr merkbaren Schwarz zum gleichzeitig darin merkbaren Weiß, und daß durch dieses Verhältniß die Qualität (Helligkeit oder Dunkelheit) jeder schwarzweißen Empfindung gegeben ist.

Wenden wir hierauf die im vorigen Paragraphen aufgestellte Hypothese an, so kommen wir zu dem weiteren Satze, daß die Art (Helligkeit oder Dunkelheit) einer farblosen Gesichtsempfindung bestimmt ist durch das Verhältniß, in welchem die Intensität oder Größe der Dis-

similirung der Sehsubstanz zur Intensität oder Größe ihrer gleichzeitigen Assimilirung steht.

Hieraus folgt weiter, daß dem Grau, welches ich als das mittle oder neutrale bezeichnet habe, derjenige Zustand der Sehsubstanz entspricht, in welchem Dissimilirung und Assimilirung gleich groß sind, so daß die Menge der erregbaren Substanz dabei constant bleibt;

daß ferner bei jeder helleren Empfindung die Dissimilirung größer ist als die Assimilirung, so daß dabei die erregbare Substanz abnimmt und zwar um so rascher, je größer das Verhältniß $\frac{W}{S}$ oder je heller die Empfindung ist, und um so mehr, je länger sie andauert;

daß dagegen bei jeder Empfindung, welche dunkler ist als das mittle Grau, die Dissimilirung kleiner ist als die gleichzeitige Assimilirung, so daß dabei die erregbare Substanz zunimmt, und zwar um so rascher, je dunkler die Empfindung ist, und um so mehr, je länger sie andauert.

Was bedeutet nun die Zu- oder Abnahme der erregbaren Substanz?

Nennen wir alle Reize, welche die Dissimilirung der Sehsubstanz begünstigen, die Dissimilirungsreize oder *D*-Reize, und entlehnen wir aus der allgemeinen Physiologie den Satz, daß die Größe der Reaction, mit welcher ein Organ auf einen Reiz antwortet, mit abhängt von der Menge der in ihm enthaltenen und vom Reize getroffenen erregbaren Substanz, so kommen wir zu dem weiteren Satze, daß die Größe der durch einen *D*-Reiz (z. B. Licht) bedingten Dissimilirung nicht blos abhängt von der Größe des Reizes, sondern auch von der jeweiligen Quantität der im gereizten Theile enthaltenen und vom Reize getroffenen erregbaren Substanz.

Das Vermögen einer erregbaren Substanz, durch Reize in den Zustand der Erregung zu gerathen, d. h. auf diese Reize durch bestimmte chemische Processe zu antworten, nennen wir ihre

Erregbarkeit. Demnach können wir das Vermögen der Sehsubstanz, auf die *D*-Reize mit der Dissimilirung zu reagiren, als ihre *D*-Erregbarkeit bezeichnen und nun obigen Satz auch so aussprechen:

Jede Zunahme der erregbaren Substanz bedingt eine Steigerung, jede Abnahme eine Herabsetzung der *D*-Erregbarkeit im entsprechenden Theile des Sehorganes.

Daraus folgt weiter, daß die Empfindung des mittlen Grau ein Gleichbleiben, jede hellere Empfindung eine Abnahme, jede dunklere eine Zunahme der *D*-Erregbarkeit des betreffenden Theiles bedingt.

Werden gleichzeitig an zwei Stellen von zunächst gleicher *D*-Erregbarkeit Empfindungen verschiedener Helligkeit oder Dunkelheit erzeugt, so hat nach Schluß der Reizung die Stelle der helleren (minder dunklen) Empfindung immer eine kleinere *D*-Erregbarkeit als die Stelle der minder hellen (dunkleren) Empfindung, gleichviel ob eine oder beide Empfindungen heller oder dunkler waren als das neutrale Grau; und zwar ist der zurückbleibende Unterschied der *D*-Erregbarkeit um so größer, je größer der Unterschied zwischen den Helligkeiten der beiden Empfindungen oder zwischen den Werthen der beiden entsprechenden Verhältnisse $\frac{W}{S+W}$ und $\frac{W'}{S'+W'}$ war.

Wie nach dem Gesagten die jeweilige Größe der Dissimilirung abhängig ist einerseits von der Größe des Reizes, anderseits von der Quantität der im gereizten Theile vorhandenen erregbaren Substanz, so wird man von vornherein behaupten dürfen, daß auch die Assimilirung nicht mit immer gleichbleibender Intensität stattfindet, sondern, daß auch sie eine variable, von bestimmten Bedingungen abhängige Größe hat.

Denn offenbar setzt der Proceß der Assimilirung voraus, daß einerseits die dazu nöthigen chemischen Bedingungen, d. h. gewisse Stoffe, anderseits gewisse physikalische Bedingungen (etwa eine gewisse Temperatur) gegeben sind. Je nachdem das, was die Assimilirung begünstigt, mehr oder weniger vorhanden ist, wird dieselbe rascher und reichlicher oder langsamer und spär-

licher erfolgen. Das zur Assimilirung nöthige, im Sehorgan vorhandene, durch die Assimilirung stetig verbrauchte und vom Blute immer wieder ersetzte *A*-Material wird mehr oder weniger erschöpft werden können, sobald sein Verbrauch stärker ist, als der gleichzeitige Wiederersatz aus dem Blute. Ferner wird die Größe der Assimilirung vielleicht auch mit abhängen von der jeweiligen Menge der assimilirenden erregbaren Substanz. Aus alledem liesse sich schon ganz theoretisch eine Reihe von Sätzen über Steigerung oder Herabsetzung des Assimilirungsvermögens oder der *A*-Erregbarkeit, über *A*-Reize im Gegensatze zu den *D*-Reizen etc. ableiten. Indessen will ich mich vorläufig nur auf solche Sätze aus der allgemeinen Nervenphysiologie beziehen, welche bereits allgemein angenommen sind, und werde nur in §. 35 auf diese Verhältnisse kurz zurückkommen, ihre ausführliche Erörterung aber für später vorbehalten.

§. 29.

Vom Gewichte der Gesichtsempfindungen.

Wenn die Helligkeit oder Dunkelheit einer farblosen Gesichtsempfindung lediglich abhängt von dem Verhältniß der Dissimilirung zur gleichzeitigen Assimilirung und also unabhängig ist von der absoluten Größe der entsprechenden psychophysischen Processe, so fragt sich, welche Bedeutung dieser absoluten Größe zukommt.

Ohne hier näher auf diese der allgemeinen Psychophysik angehörige Frage einzugehen, will ich mich bemühen, sie in der Kürze vorläufig zu beantworten.

Die absolute Größe eines gegebenen psychophysischen Processes bestimmt — um hier einen neuen Ausdruck einzuführen — das Gewicht der entsprechenden Empfindung. Liegen einer Empfindung, wie z. B. dem Grau, zwei gleichzeitige psychophysische Processe verschiedener Qualität zu Grunde, so gibt die Summe der Größen beider Processe das Gewicht der resultirenden oder Mischempfindung. Die Deutlichkeit, mit welcher in einer solchen zusammengesetzten Empfindung jede einzelne relativ einfache Empfindung hervortritt, hängt ab von dem Verhältnisse, in welchem ihr eigenes Gewicht zum Gesammtgewichte der resultirenden oder zusammengesetzten Empfindung steht. So ist, wie

wir sahen, die Helligkeit oder Weißlichkeit einer grauen Empfindung bestimmt durch das Verhältniß des Gewichtes der weißen Empfindung (oder der Größe der Dissimilirung) zum Gesammtgewichte der grauen Empfindung, d. h. zur Summe der Gewichte der weißen und der schwarzen Empfindung (oder der Größen der Dissimilirung und der Assimilirung).

Ist eine schon zusammengesetzte Empfindung, wie z. B. Grau, wieder eine Componente einer noch complicirteren Verbindung, z. B. des Graublau, so hängt die Deutlichkeit, mit welcher das Grau in dieser Empfindung hervortritt, wieder ab von dem Verhältnisse, in welchem das Gewicht der grauen Empfindung zum Gesammtgewichte der grau-blauen steht.[1]) Tritt z. B. in einer solchen Empfindung das Blau, Weiß und Schwarz gleich deutlich hervor, so beruht dies darauf, daß die blaue, die weiße und die schwarze Empfindung gleiches Gewicht haben. Eine solche Empfindung kann man auch auffassen als bestehend aus zwei Theilen neutralen Grau und einem Theil Blau. Der Charakter oder die Qualität einer Empfindung ist also unabhängig von ihrem Gesammtgewichte, aber bestimmt durch das Verhältniß der Einzelgewichte der sie zusammensetzenden einfachen oder relativ einfachen Empfindungen, und das Gewicht einer schwarz-weißen Empfindung gewinnt demnach erst dann Bedeutung, wenn sie mit andern Gesichtsempfindungen zusammentritt oder überhaupt insofern, als ihre Beziehungen zu den gleichzeitigen anderweiten psychophysischen Processen in Betracht kommen.

Der sachkundige Leser wird aus dem Gesagten schon das allgemeine psychophysische Grundgesetz erkannt haben, von welchem ich im Gegensatze zu Fechner ausgehe. Dieses Gesetz besagt, daß die Reinheit, Deutlichkeit oder Klarheit irgend einer Empfindung oder Vorstellung abhängt von dem Verhältnisse, in welchem das Gewicht derselben, d. i. die Größe des entsprechenden psychophysischen Processes, steht zum Gesammtgewichte aller gleichzeitig vorhandenen Empfindungen und Vorstellungen (oder wie man sonst die psychischen Zu-

[1]) Über den psychophysischen Proceß, welcher der blauen Empfindung entspricht, wird erst bei Erörterung des Farbensinnes zu sprechen sein.

stände nennen will), d. i. zur Summe der Größen aller entsprechenden psychophysischen Processe.

Die meisten Empfindungen, welche wir als einfache hinnehmen, sind höchst zusammengesetzt; diejenige Partialempfindung, welche das größte Gewicht hat, gibt der Totalempfindung ihren Charakter und Namen. Sinkt der Bruchtheil, welcher vom Gesammtgewichte einer Empfindung auf eine ihrer Componenten kommt, unter einen gewissen Werth, so sind wir nicht mehr im Stande, diese Componente als solche herauszufühlen. Gleichwohl wirkt auch eine so schwache Componente an der Empfindung mit und bestimmt mit ihren Charakter, ihre Qualität. Fechner würde sagen, die Partialempfindung bleibe „unter der Schwelle". So ist jede Gesichtsempfindung, wie ich später darzuthun suchen werde, aus mehreren einfachen Empfindungen zusammengesetzt, und wenn ich hier die Empfindungen der schwarzweißen Reihe als nur binäre Empfindungen hingestellt habe, so geschah es vorläufig im Interesse der Einfachheit der Darstellung. Im Schwarz und Weiß sind eben die gleichzeitig mit empfundenen Farben „unter der Schwelle", weil ihr relatives Gewicht zu klein ist.

§. 30.

Über den Unterschied zwischen Erregbarkeit und Empfindlichkeit.

Die allgemeine Physiologie ist auf Grund zahlreicher Erfahrungen zu dem Satze gelangt, daß die Erregung wächst mit der Größe des Reizes, und zwar versteht sie hiebei unter Reiz immer einen *D*-Reiz und unter Erregung die Dissimilirung. Denn mit den *A*-Reizen und mit der von denselben abhängigen Assimilirung hat sich die Physiologie bis jetzt nicht eingehender beschäftigt, obwohl die Assimilirung ein Proceß von derselben Bedeutung ist, wie die Dissimilirung und man daher eigentlich zwei verschiedene Arten der Erregung zu unterscheiden hat.

Wenn nun die Helligkeit einer farblosen Gesichtsempfindung abhängt von dem Verhältnisse dieser beiden immer gleichzeitig in der Sehsubstanz stattfindenden Erregungen, nämlich der Dissimilirung (*D*) und der Assimilirung (*A*), so ist ersichtlich, daß die *D*-Erregbarkeit kein Maaß der Empfindlichkeit für Helligkeiten sein kann.

Gesetzten Falls die Empfindung des mittlen Grau, dessen Helligkeit nach meiner Bezeichnung (vergl. §. 22) gleich 0·5 ist, sollte derart verändert werden, daß sie um ein eben Merkliches an Helligkeit gewänne, so wäre dies, ganz theoretisch genommen,

auf sehr verschiedene Weise möglich. Erstens nämlich durch Steigerung der Dissimilirung (D), während A unverändert bleibt, zweitens durch Minderung von A bei unverändertem D, drittens dadurch, daß D steigt, während zugleich A abnimmt oder ebenfalls, aber weniger als D zunimmt, viertens endlich durch Abnahme von A bei gleichzeitiger aber minder großer Abnahme von D. In allen diesen Fällen nämlich würde das Verhältniß $\frac{D}{A}$ oder $\frac{W}{S}$ größer werden, und daher die Helligkeit der Empfindung zunehmen.

In dem besonderen Falle, wo die Änderung der Empfindung durch äußeres Licht, also durch einen D-Reiz herbeigeführt wird, fallen schon einige dieser Möglichkeiten weg, weil hiebei immer eine Steigerung der Dissimilirung eintritt, und es sich daher nur noch fragt, ob dabei die Assimilirung gleich bleibt oder abnimmt, oder ebenfalls, aber schwächer als D, zunimmt. Je nachdem das eine oder das andere der Fall ist, wird trotz gleicher D-Erregbarkeit ein größerer oder kleinerer Lichtreiz nöthig sein, um einen und denselben Helligkeitszuwachs der Empfindung herbeizuführen.

Aber selbst wenn die Assimilirung während der Zunahme der Dissimilirung ganz unverändert bliebe, würde doch ein und derselbe Zuwachs zur letzteren das eine Mal eine eben merkliche Veränderung der erwähnten mittelgrauen Empfindung bewirken können, das andere Mal nicht, und das dritte Mal eine viel stärkere Veränderung. Es wird dies nämlich mit abhängen von der absoluten Größe der schon bestehenden Assimilirung und Dissimilirung, d. h. von dem Gewichte der anfänglichen Empfindung.

Gesetzten Falls, die der gegebenen Empfindung des neutralen Grau entsprechende D und A sei je 100, so ist das Geammtgewicht der Empfindung gleich 200, die Helligkeit gleich 0·5. Stiege jetzt die Dissimilirung auf 101, so würde das Gesammtgewicht der Empfindung auf 201 und die Helligkeit auf $\frac{101}{101+100} = 0{\cdot}5024875\ldots$ steigen.

Wäre dagegen die anfängliche Größe von A und D je gleich 200, und wüchse D ebenfalls um 1, so daß sie gleich 201 würde,

so stiege die Helligkeit auf $\frac{201}{201+200} = 0{\cdot}5012468\ldots$, d. i. nur etwa um die Hälfte des vorigen Zuwachses.

Je größer überhaupt das Gewicht der schon bestehenden Empfindung ist, ein desto größerer D-Zuwachs ist, unveränderte A vorausgesetzt, erforderlich, um eine eben merkliche Veränderung dieser Empfindung herbeizuführen.

Wollen wir als Maaß der Empfindlichkeit den kleinsten Reizzuwachs benützen, welcher eine eben merkliche Helligkeitszunahme einer gegebenen Empfindung bedingt, so haben wir also außer der D-Erregbarkeit und der Helligkeit der Empfindung, auf welche man bisher allein Rücksicht genommen hat, auch noch das Gewicht der anfänglichen Empfindung und die etwaige gleichzeitige Änderung der Assimilirungsgröße mit zu berücksichtigen. Daß endlich auch noch der sonstige psychophysische oder psychische Zustand in Betracht kommt, versteht sich von selbst.

§. 31.

Über den Zustand und die Empfindungen des Sehorganes nach längerem Aufenthalte im Finstern.

Da auch das durch längere Zeit vor jedem äußern Reize geschützte Sehorgan uns nicht die Empfindung eines absoluten Schwarz, sondern viel hellere Empfindungen gibt, so war man, um diese als Eigenlicht oder als innerer Lichtnebel bezeichneten Empfindungen zu erklären, zur Annahme stetig fortwirkender innerer Reize genöthigt, und folgerecht ergab sich hieraus der Satz, daß das Sehorgan sich nie im Zustande vollständiger „Ruhe“ befindet.

Von vornherein war ferner wahrscheinlich, daß das vollständig verfinsterte Sehorgan sich schließlich mit den sogenannten inneren Reizen derart in's Gleichgewicht setzen werde, daß sich eine gewisse Constanz seines Zustandes und insbesondere ein annäherndes Gleichbleiben seiner Empfindlichkeit herstellen werde. Denn während man annahm, daß die äußeren Reize die Netz-

haut ermüden, durfte man nicht dasselbe auch von den inneren Reizen gelten lassen, soweit sie nur nicht eine krankhafte Intensität haben; sonst wäre es ja nicht denkbar gewesen, daß das durch äußere Reize ermüdete Sehorgan sich trotz der immer vorhandenen inneren Reize erholen und allmälich wieder auf das Maximum seiner Empfindlichkeit kommen kann.

In der That hat Aubert[1]) durch directe Versuche erwiesen, daß beim Aufenthalt im Dunkeln die Empfindlichkeit zwar anfangs rasch, später aber nur noch sehr langsam wächst, und daß sich also wahrscheinlich eine annähernde Constanz der Empfindlichkeit früher oder später herstellt. Wie nun die jetzige Theorie annehmen muß, daß bei diesem Zustande die erregbare Substanz in dem Maaße, als sie durch die inneren Reize verbraucht wird, sich durch einen gleichzeitigen Restitutionsproceß wieder ersetzt, so nehme auch ich an, daß hierbei Dissimilirung und Assimilirung annähernd gleich groß sind.

Je länger wir uns also im ganz dunklen Raume aufhalten, desto mehr müßte sich nach meiner Theorie das sogenannte Eigenlicht der mittlen Helligkeit (= 0·5) nähern, und sobald das völlige Gleichgewicht zwischen Dissimilirung und Assimilirung hergestellt wäre, müßte die Empfindung des mittlen Grau selbst eintreten.

Wirklich haben wir nun, wie schon früher (§. 23) betont wurde, nach längerem Aufenthalte im Finstern nicht die Empfindung des Schwarzen, sondern bedeutend hellere Empfindungen; aber es ist die Wirkung der inneren Reize keine constante und nicht einmal gleichzeitig in allen Theilen des Sehorganes dieselbe, so daß jene mittle Empfindung nicht nach Zeit und Raum stetig vertheilt sein kann. Vielmehr schwankt die Empfindung hin und her, und wir müssen uns begnügen, nachgewiesen zu haben, daß das Sehorgan, wenn seine Dissimilirung und Assimilirung annähernd gleich groß sind, von der Empfindung des Schwarzen ungefähr ebenso weit entfernt ist, als von der des Weißen.

Bedenke ich die durchschnittliche Gesichtsempfindung, welche ich nach längerem Aufenthalte im Finstern, also z. B.

---

[1]) Physiologie der Netzhaut. S. 37.

nach dem Erwachen während der Nacht im finstern Zimmer habe, so muß ich zugestehen, daß mir dieselbe trotz ihrer Helligkeit doch dem tiefsten Sammtschwarz, wie ich es im erleuchteten Raume sehen kann, immer noch näher verwandt erscheint, als dem Weiß der Sonnenscheibe. Dies scheint meiner Behauptung, daß jene Empfindung durchschnittlich dem mittlen Grau von der Helligkeit 0·5 gleiche, zu widersprechen. Doch ist der Widerspruch wohl nur scheinbar. Gäbe es nämlich Lichtstrahlen, welche in unserem Auge ganz analoger Weise die Assimilirung förderten, wie die wirklichen Lichtstrahlen die Dissimilirung steigern, und könnten wir solche Lichtstrahlen mit derselben Intensität auf die Netzhaut wirken lassen, wie wir es mit den Sonnenstrahlen vermögen, so müßten wir dadurch die Empfindung eines Schwarz bekommen, welches an Tiefe oder Intensität ganz außerordentlich selbst das tiefste wirklich empfundene Sammtschwarz überträfe und geradezu blendend wäre. Aber solche als A-Reiz wirkende Lichtstrahlen gibt es nicht, die innern A-Reize aber sind immer verhältnißmäßig schwach; sie wirken nie in so concentrirter Weise, wie es günstigen Falls das äußere Licht vermag.

Da wir also von den nur denkbaren dunklen Empfindungen, welche schwärzer als Sammtschwarz sind, gar keine Vorstellung haben, eben weil sie erfahrungsgemäß nicht vorkommen und nach meiner Theorie auch nicht vorkommen können, so ist begreiflich, daß uns das mittle Grau oder die mittle Helligkeit dem Sammtschwarz näher zu stehen scheint, als dem hellsten wirklich zur Empfindung kommenden Weiß.

§. 32.

Erklärung des simultanen Contrastes.

Stellen wir bei einer mittlen Beleuchtung und mit gesunden, nicht zuvor geblendeten Augen die in meiner zweiten Mittheilung beschriebenen Contrastversuche an, so ergibt sich, daß, wenn ein Theil des Sehorganes durch Licht gereizt wird, die übrigen Theile und insbesondere die Nachbartheile dunkler empfinden als vorher.

Von vornherein gestattet die in §. 27 aufgestellte Hypothese eine mehrfache Erklärung dieser Thatsache. Das Dunklerwerden

der Empfindung in der Umgebung des Hellen läßt sich nämlich ebensowohl ableiten aus einer unter dem indirecten Einflusse des Lichtreizes eingetretenen Minderung der Dissimilirung als aus einer Steigerung der Assimilirung (von den denkbaren Combinationen beider Wirkungen ganz abgesehen). In beiden Fällen müßte eine Verdunklung der Empfindung und als secundäre Wirkung eine Erhöhung der *D*-Erregbarkeit in der Umgebung des Hellen eintreten. Ich werde in den folgenden Paragraphen Thatsachen zur Unterstützung der Annahme beibringen, daß bei dieser Verdunklung durch Contrast eine Steigerung der Assimilirung an den verdunkelten Stellen stattfindet, und will daher schon hier von dieser Annahme ausgehen.

Diese Zunahme der Assimilirung ist nun, wie die Versuche lehren, am stärksten in unmittelbarer Nähe der durch äußeres Licht gereizten Stellen, nimmt mit der Entfernung rasch ab, läßt sich aber nicht bestimmt begrenzen und findet wahrscheinlich auch in den entfernteren Theilen, wenngleich hier in kaum oder bisweilen gar nicht merklicher Weise statt. Den zeitlichen Verlauf derselben lasse ich hier vorläufig unberücksichtigt.

Es läßt sich demnach folgender Satz aussprechen: Auf partielle Reizung durch Licht reagirt nicht nur der getroffene Theil, sondern auch dessen Umgebung und zwar der direct gereizte Theil durch gesteigerte Dissimilirung, die (indirect gereizte) Umgebung durch gesteigerte Assimilirung derart, daß letztere Steigerung in der unmittelbaren Nähe der beleuchteten Stelle am größten ist und mit dem Abstande von derselben rasch abnimmt.

Hieraus erklärt sich nun, warum wir im beleuchteten Raume an den finstern Stellen wirkliches Schwarz sehen (vergl. §. 23), während wir im verdunkelten Auge hellere Empfindungen haben, obgleich die inneren *D*-Reize dort wie hier wirksam sind, und die schwarz empfindenden Stellen des offenen Auges noch dazu immer etwas äußeres Licht empfangen.

Denn ich habe zwar zunächst angenommen, daß nur einzelne Stellen der Netzhaut ausschließlich beleuchtet seien, und die übrigen ganz finster, aber dieser Fall tritt in Wirklichkeit nie ein, weil im Auge immer Licht über die übrige Netzhaut zer-

streut wird, und weil überdies unter den gewöhnlichen Umständen auch von den sogenannten ganz dunklen Theilen des sichtbaren Raumes stets ein schwaches Licht zurückgeworfen wird.

Durch die Steigerung der Assimilirung an den nicht vom Bilde der hellen Objecte getroffenen Stellen wird nun für gewöhnlich verhütet, daß das zerstreute Licht wahrgenommen wird.

Das zerstreute Licht ist am stärksten in der Nähe eines hellen Netzhautbildes und bedingt hier das Übergreifen der Beleuchtung über die Grenzen des eigentlichen Bildes (objective Irradiation).

Dadurch, daß die Steigerung der Assimilirung in unmittelbarer Nähe der beleuchteten Stelle am größten ist, wird auch die Wahrnehmung dieses relativ starken zerstreuten Lichtes größten Theiles unmöglich gemacht. Auf diesen günstigen Einfluß des simultanen Contrastes hat schon Mach[1]) aufmerksam gemacht, ohne ihn jedoch physiologisch genügend erklären zu können.

Das zerstreute Licht wird also innerhalb gewisser Grenzen unschädlich gemacht, das helle Netzhautbild bekommt schärfere Umrisse und wird durch die Verdunklung des Grundes stärker gehoben.

In extremen Fällen genügt allerdings die geschilderte Steigerung der Assimilirung nicht mehr, um das zerstreute Licht ganz unsichtbar zu machen, immerhin aber wird es gedämpft. Übrigens aber hält die Contrastwirkung nicht lange an, sondern schlägt bei fester Fixation früher oder später in ihr Gegentheil um. (Vergl. den folg. §.)

Da man jedoch beim gewöhnlichen Sehen seinen Blick fortwährend über die Außendinge hin und her bewegt, so hat die beschriebene Einrichtung noch einen weiteren großen Vortheil. Wie auch das Bild eines hellen Objectes auf der Netzhaut wandert, immer trifft es die Stelle, auf welche es übertritt, gleichsam zu seinem Empfange vorbereitet. Denn die in der Umgebung des

---

[1]) Über die Wirkung der räuml. Vertheilung des Lichtreizes auf die Netzhaut. (Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. 52. Bd. 1865.)

Bildes sehr schnell erfolgende Steigerung der Assimilirung erhöht zugleich ebendaselbst die D-Erregbarkeit und das helle Bild findet also bei seiner Wanderung immer eine (relativ oder absolut) gesteigerte D-Erregbarkeit vor. Nach kurzem Aufenthalte an einer Stelle läßt es dieselbe mit verminderter D-Erregbarkeit zurück, wirkt aber von seinem neuen Platze aus begünstigend auf die Assimilirung jener Stelle zurück und hilft dazu, deren frühere D-Erregbarkeit wieder herzustellen. Dabei wird durch die Steigerung der Assimilirung und die entsprechende Verdunkelung zugleich jene Helligkeit rascher gedämpft, welche hinter einem bewegten hellen Netzhautbilde zurückbleibt und welche man aus einer Nachdauer der Erregung zu erklären pflegt.

Es werden aber, wie ebenfalls in meiner zweiten Mittheilung besprochen worden ist, nicht blos dunkle Theile des Sehfeldes durch Contrast absolut dunkler, sondern auch helle absolut heller.

Wenn es richtig ist, daß auf Reizung eines Theiles die anderen Theile des Sehorganes durch vergrößerte Assimilirung reagiren und zwar hauptsächlich die Nachbartheile, so folgt, daß, wenn zwei Nachbartheile gleichzeitig durch Licht gereizt werden, sie gegenseitig ihre Assimilirung unterstützen. In Folge dessen wird das Verhältniß $\frac{W}{S}$ oder $\frac{D}{A}$ an beiden Stellen ein kleineres, als es sein würde, wenn diese gegenseitige Förderung der Assimilirung nicht bestände, und die Empfindung wird dem entsprechend minder hell, als sie sonst sein würde. Man kann also sagen, daß gleichzeitig gereizte Stellen sich gegenseitig in ihrer Helligkeit beeinträchtigen oder so zu sagen verdunkeln, um so mehr, je näher sie einander sind, d. h. zugleich, daß sie gegenseitig ihre erregbare Substanz vor zu raschem Verbrauche schützen.

Wenn ein heller Theil von ebenfalls hellen Theilen umgeben ist, so erfährt seine Assimilirung von allen Seiten her eine Unterstützung und erscheint daher minder hell, als wenn er von dunklen

Theilen umgeben wäre: hierauf beruht die Steigerung der Helligkeit durch Contrast.

Es erklärt sich nun, warum helle Objecte auf dunklem Grunde heller erscheinen, wenn sie ein kleines, als wenn sie ein großes Netzhautbild geben. Man lege einen Bogen grauen Papieres auf sammtschwarzen Grund und in einiger Entfernung davon auf denselben Grund einen schmalen Streifen desselben Papieres, so wird dieser Streifen deutlich heller erscheinen als der ganze Bogen. Streifen und Bogen dürfen bei diesem Versuche keine Knickungen haben und müssen von feinem Korne sein oder aus größerer Entfernung aber bei scharfer Acomodation betrachtet werden. Hierher gehört auch folgender Versuch von Mach[1]):

„Legt man auf einen unbegrenzten schwarzen Grund ein weißes Quadrat, so zeigt dies eine gewisse Contrasthelligkeit.“ Schneidet man nun aus der Mitte desselben ein kleines Quadrat aus und legt es daneben, „so bleibt die Gesammthelligkeit des Gesichtsfeldes dieselbe. Die Helligkeit des Weiß wächst jedoch. Dies deutet,“ wie Mach fortfährt, „auf eine Wechselwirkung der Netzhautstellen und zwar auf eine desto stärkere, je näher sich die Netzhautstellen sind. Es geschieht eben in dem Versuche nichts anderes, als daß einige schwarze Stellen einigen weißen näher rücken.“ Dieser Versuch beweist zugleich, daß die scheinbare Helligkeit eines hellen Papierbildes nicht blos abhängt von dem „Verhältniß der Lichtquantität der gesammten Netzhaut und des Papierbildes“, woraus Mach[2]) das scheinbare Gleichbleiben eines und desselben Papierweiß trotz verschiedener Helligkeit der Beleuchtung erklären wollte, denn bei dem eben beschriebenen Versuche bleibt ja dieses Verhältniß dasselbe und nur die Vertheilung des Lichtes ändert sich. Das scheinbare Gleichbleiben desselben Papierweiß bei verschiedenen Beleuchtungen erklärt sich aus der Adaptation des Sehorganes, und diese beruht, wie ich später zeigen werde, auf einem, unter dem Einflusse des dauernd wirkenden Lichtreizes sich herstellenden, neuen annähernden Gleichgewichte zwischen Dissimilirung und Assimilirung.

Am eindringlichsten zeigt folgender Versuch die Erhellung durch Contrast. Man halte ein größeres Stück schwarzen Papieres gegen den blauen oder graubewölkten Himmel, steche aber zuvor ein feines Loch in das Papier, etwa 1 Cm. weit vom

---

[1]) Über die physiologische Wirkung räumlich vertheilter Lichtreize. IV. Abhandl. Sitzungsber. d. Wiener Akad. d. Wissensch. 57. Bd., S. 11. 1868.

[2]) Über die Abhängigkeit der Netzhautstellen von einander. Vierteljahrschrift für Psychiatrie. 1868.

Rande desselben, und vergleiche dann die Helligkeit des Himmels mit der des leuchtenden Punktes; ersterer ist mäßig hell, letzterer leuchtet intensiv. Hieraus erklärt sich mit die große scheinbare Helligkeit der Sterne trotz ihrer objectiven Lichtschwäche. Alle diese Versuche setzen feste Fixirung voraus.

Wenn man eine beschränkte Stelle einer beliebig hellen oder dunklen Fläche eben merklich erhellt oder (z. B. durch Schatten) verdunkelt, so beruht die Merklichkeit dieser Veränderung nach dem Gesagten keineswegs blos auf der Zu- oder Abnahme der Helligkeit der betroffenen Stelle, wie man dies zeither angenommen hat, sondern auch auf der Ab- oder Zunahme der Helligkeit ihrer Umgebung. Dies kommt bei den üblichen Methoden zur Messung der Unterschiedsempfindlichkeit sehr in Betracht.

Alles, was von dem Contraste zwischen Hell und Dunkel gesagt worden ist, gilt selbstverständlich auch von Contrasten zwischen Hell und Minderhell, Dunkel und Minderdunkel, was ich hier nicht weiter ausführen will.

Ich lasse vorläufig ganz dahingestellt, ob die indirecte Wirkung des Lichtreizes blos darauf beruht, daß er die Assimilirung der Umgebung und besonders der gereizten Stelle selbst begünstigt, oder ob er etwa gleichzeitig auch die Dissimilirung der Umgebung herabsetzt. Dies würde die Erscheinungen zwar dem Maße, nicht aber der Richtung nach ändern. Später werde ich bei der ausführlichen Erörterung der Contrasterscheinungen darauf zurückkommen. Hier beabsichtige ich nur eine kurze Skizzirung meiner Theorie.

Die zunächst räthselhaft erscheinende Thatsache, daß das Licht nicht nur direct auf den von ihm getroffenen Theil, sondern auch indirect auf die übrigen und insbesondere die Nachbartheile wirkt, muß man, wie jede Thatsache, einfach hinnehmen. Denn daß eine solche indirecte Wirkung und überhaupt eine Wechselwirkung der einzelnen Theile des Sehorganes besteht, habe ich in meinen früheren Mittheilungen über Contrast und Induction bewiesen. Die Sache verliert viel von ihrer Räthselhaftigkeit, wenn man bedenkt, daß es im Bereiche des physikalischen und chemischen Geschehens zahlreiche Analogien dafür gibt, besonders da, wo es sich um Auslösung von Kräften handelt.

Man denke sich z. B., die Ätherschwingungen lösten an der gereizten Stelle einen chemischen Proceß aus, durch welchen Wärme frei würde, so wäre denkbar, daß diese Wärme nun ihrerseits die Assimilirung unterstützte und zwar nicht nur an der beleuchteten Stelle, sondern in Folge der Fortleitung der Wärme auch, jedoch schwächer, in der Umgebung. Ich be-

merke aber ausdrücklich, daß dies nur ein Bild sein soll, und daß sich solcher Bilder viele machen ließen.

§. 33.

Erklärung der simultanen und successiven Lichtinduction.

Wie in meiner dritten Mittheilung (über simultane Lichtinduction) näher auseinandergesetzt ist, überzieht sich ein dunkler Grund, auf welchem sich helle Theile befinden, mehr und mehr mit subjectivem Licht, wenn man eine Stelle längere Zeit fixirt hat. Diese Erhellung des Grundes beginnt an der Grenze der hellen Theile und breitet sich allmälig immer weiter aus, während zugleich die hellen Theile immer dunkler werden.

Diese von mir sogenannte simultane Lichtinduction ist eine nothwendige Folge der anfänglichen Contrastwirkung. Durch die Reizung und gesteigerte Dissimilirung in den beleuchteten Theilen wird in den übrigen die Assimilirung gesteigert, was sich durch die subjective Verdunklung derselben verräth. Diese Steigerung der Assimilirung hat nun an den dunklen Stellen eine Zunahme der erregbaren Substanz und also auch der *D*-Erregbarkeit zur Folge. Die fortwirkenden innern Reize und das schwache von dem dunklen Grunde zurückgeworfene oder von den hellen Theilen zerstreute Licht bewirken daher eine immer mehr zunehmende Dissimilirung, während die Assimilirung nicht zu-, sondern vielmehr allmälich wieder abnimmt. Hieraus folgt, nach meiner Theorie, eine Wiederzunahme der scheinbaren Helligkeit an den vorher durch Contrast verdunkelten Stellen.

Handelt es sich nicht um Hell und Dunkel, sondern um Hell nnd Minderhell, Minderdunkel und Dunkel, so ist der Verlauf im wesentlichen derselbe; der anfangs durch Contrast mit dem Helleren etwas abgeschwächte Grund nimmt wieder an Helligkeit zu, der durch Contrast mit dem Minderdunklen noch mehr verdunkelte dunkle Grund wird wieder minder dunkel.

Da, während der Grund sich durch simultane Induction aufhellt, zugleich die helleren Theile wegen der unter dem Einflusse des Reizes stattfindenden Abnahme der erregbaren Substanz und der *D*-Erregbarkeit allmälich minder hell werden, so

tritt früher oder später der Fall ein, daß die Helligkeit des Grundes eben auf denselben Grund gestiegen ist, auf welchen gleichzeitig die Helligkeit der helleren Theil herabgesunken ist: jetzt fliessen Grund und hellere Theile unterschiedslos zusammen, oder wie man zu sagen pflegt, die hellen Theile verschwinden. In den peripherischen Theilen tritt dies schneller ein als in den centralen, doch fordert der Versuch sowohl dort als insbesondere hier Übung im dauernden festen Fixiren; denn jede Bewegung des Auges verschiebt die hellen Bilder auf der Netzhaut und ihre Umrisse treten jetzt in Folge des successiven Contrastes mit um so größerer Deutlichkeit hervor. Der Ungeübte wird deshalb besser thun, auf einer hellen Fläche eine Anzahl verwaschen begrenzter Schatten zu erzeugen, oder ein weißes Papier über einer russenden Ölflamme hin und her zu führen. Bei fester Fixation einer solchen Fläche, auf der Helleres und Dunkleres abwechseln, wird er bald Alles die gleiche Helligkeit annehmen sehen.

Hört die Beleuchtung der hellen Theile auf, so können sie nicht mehr begünstigend auf die Assimilirung in den umgebenden Theilen wirken, die Assimilirung sinkt daher hier sofort, während die Dissimilirung unter dem Einflusse der innern D-Reize nicht nur fortbesteht, sondern auch wegen der gesteigerten D-Erregbarkeit entsprechend stark ist. Nach unserer Theorie folgt, daß nun das Verhältniß $\frac{W}{S}$ oder $\frac{D}{A}$ ein größeres, d. h. die Empfindung heller wird. Daher erscheinen nach langer Fixation einer Fläche, die Helles auf dunklem Grunde zeigt, im nachher verdunkelten Auge die vorher dunklen Theile hell und wie ich gezeigt habe, unter günstigen Umständen geradezu leuchtend hell: dies ist die successive Lichtinduction.

§. 34.

Erklärung des successiven Contrastes.

Ich will das Wesentlichste der Erscheinungen des successiven Contrastes an vier Cardinalversuchen erläutern, welche zum Theil schon früher erwähnt worden sind.

1. Man lege auf einen weißen Grund zwei tiefschwarze Blätter oder mit schwarzem Sammt überzogene Cartonblätter

derart, daß sie nur einen 1 Cm. breiten weißen Streifen freilassen, und fixire letzteren $^1/_2$—1 Minute lang. Dabei wird man bemerken, daß die ursprüngliche Helligkeit des Weiß allmälig nachläßt. Entfernt man aber plötzlich die schwarzen Blätter, so erscheint der unmittelbar vorher noch weiße Streifen dunkelgrau. Diese plötzliche Verwandlung des Streifens ist nach meiner Theorie die nothwendige Folge der plötzlichen hellen Beleuchtung seiner Nachbarschaft; die Dissimilirung der letzteren wird plötzlich gesteigert und wirkt nun ihrerseits von zwei Seiten her begünstigend auf die Assimilirung an der Stelle des Streifens. Vor der Entfernung der schwarzen Blätter war das Gegentheil der Fall; auf die Nachbarschaft des vom Weiß des Streifens beleuchteten Theils wirkte nur spärlich zerstreutes Licht dissimilirend, dagegen wurde vom Streifen her die Assimilirung begünstigt und die *D*-Erregbarkeit gesteigert. Wird nun plötzlich das Licht des weißen Grundes neben dem Streifen sichtbar, so wirkt es um so stärker dissimilirend. An der Stelle des Streifens hat dagegen die erregbare Substanz und mit ihr die *D*-Erregbarkeit abgenommen, die Dissimilirung und das Gewicht der Empfindung ist trotz gleichbleibendem Reize kleiner geworden, und die plötzliche Steigerung der Assimilirung wirkt nun um so stärker verdunkelnd.

Der beschriebene Versuch ist eine zweckmäßige Abänderung des bekannten Versuches, bei welchem man nach längerer Fixation eines hellen Objectes auf dunklem Grunde den Blick auf eine weiße Fläche richtet.

Daß es paradox ist, zu behaupten, der Streifen werde unmittelbar nach Entfernung der schwarzen Blätter noch ebenso hell empfunden, wie kurz zuvor, und er scheine nur in Folge eines falschen Urtheils dunkler, beziehungsweise im günstigsten Falle sogar schwärzlich, dies habe ich schon in §. 19 hervorgehoben. Man kann deshalb auch ein solches negatives Nachbild nicht blos aus der „Ermüdung“, d. h. der gesunkenen „Erregbarkeit“ für äußeres Licht erklären.

2. Legt man auf einen schwarzen Grund zwei große weiße Blätter, so daß sie wieder nur einen schmalen Streifen des Grundes freilassen, und fixirt den letztern $^1/_2$ Minute lang, so wird er anfangs sehr dunkel erscheinen und allmälig etwas heller

werden (simultane Lichtinduction), sobald man aber die beiden weißen Blätter schnell entfernt, weißlich erscheinen. Dies beruht auf der schon erklärten successiven Lichtinduction. Der Versuch ist nur eine Abänderung des Versuches, bei welchem man ein schwarzes Object auf weißem Grunde fixirt und dann auf einen schwarzen Grund blickt. Daß das plötzliche Hell- oder Weißlichwerden des kurz vorher noch schwarzen Streifens sich nicht aus der „Ermüdung" seiner Umgebung erklären läßt, wurde schon in meiner ersten Mittheilung gezeigt.

3. Lege ich einen schmalen weißen Streifen auf schwarzen Grund, fixire denselben eine Weile und ziehe ihn dann rasch weg, oder schiebe ein gleich schwarzes Blatt darüber, so erscheint nun das Schwarz an der Stelle des früheren Streifens dunkler und in der nächsten Umgebung heller als kurz vorher.

Während der Betrachtung des weißen Streifens wurde in seiner Umgebung die Assimilirung gesteigert, an der Stelle des Streifens aber nahm die *D*-Erregbarkeit ab, während eine irgend erhebliche *A*-Ermüdung, d. h. Erschöpfung des Assimilirungsmaterials (siehe den folg. §.) nicht stattfand. Deshalb erscheint zwar bei genauer Beobachtung im ersten Momente nach Entfernung des weißen Streifens an seiner Stelle ein schwach grauer (das positive, jetzt aus dem Fortklingen der Erregung erklärte Nachbild), sehr schnell aber wird die Stelle ganz schwarz, während ihre Umgebung sich aufhellt, weil hier die vorhergegangene Unterstützung der Assimilirung weggefallen ist und das schwache Licht der schwarzen Fläche sowie die inneren Reize jetzt eine gesteigerte *D*-Erregbarkeit finden.

4. Fixire ich einen schwarzen Streifen auf weißem Grunde und ziehe nach einer Weile den Streifen rasch weg oder schiebe ein gleich weißes Blatt darüber, so sehe ich an Stelle des schwarzen Streifens ein Weiß, das viel heller und reiner ist, als das Weiß der übrigen Fläche und besonders von seiner nächsten Umgebung absticht, welche häufig schmutzigweiß oder hellgrau erscheint (Dunkelhof). Während der Betrachtung des schwarzen Streifens wurde nämlich im entsprechenden Theile des Sehorganes die Assimilirung von zwei Seiten her gesteigert, daher das anfängliche tiefe Schwarz des Streifens; in nächster Umgebung des Streifens aber fand eine stärkere Herabsetzung der

D-Erregbarkeit als in den übrigen Theilen statt, weil die Assimilirung nur von der einen Seite, nicht von allen Seiten her unterstützt wurde. Das Licht, welches dann plötzlich auf den vorher dunklen Theil des Sehorganes fällt, findet also hier eine gesteigerte *D*-Erregbarkeit vor, bewirkt daher eine relativ starke Dissimilirung, welche ihrerseits wieder begünstigend auf die Assimilirung der Nachbarschaft wirkt. Theils wegen dieser stärkeren Assimilirung, theils wegen der schwächeren Dissimilirung erscheinen nun diese Nachbartheile dunkler als die übrige weiße Fläche.

In diesen vier Versuchen sind die wesentlichsten und bekanntesten Erscheinungen der negativen Nachbilder des offenen Auges oder des successiven Contrastes enthalten; das fernere Detail möge später ausführlich erörtert werden. Man sieht aber schon aus der hier gegebenen Skizze, wie ausgiebig sich aus meiner Theorie alle diese Erscheinungen erklären lassen, und zugleich, wie ungenügend die bisherigen Erklärungen waren.

§. 35.

Über die Ermüdung des Sehorganes.

Wenn durch Einwirkung eines Lichtreizes die Dissimilirung der erregbaren Substanz unmittelbar gesteigert wird und dadurch wieder mittelbar, obwohl in schwächerem Maße, auch die Assimilirung der beleuchteten Theile, so muß nicht nur die Menge der erregbaren Substanz in diesen Theilen abnehmen, sondern es kann auch der Vorrath an Assimilirungsmaterial dann sich mindern, wenn der Verbrauch desselben unter dem indirecten Einflusse des Reizes rascher stattfindet, als der gleichzeitige Ersatz aus dem Blute erfolgen kann. Hört dann die Reizung plötzlich wieder auf, so sinkt nicht nur die Dissimilirung auf ein Maß zurück, wie es der geminderten erregbaren Substanz und den fortwirkenden inneren Reizen entspricht, sondern es sinkt auch die Assimilirung, weil sie nicht mehr durch die indirecte Wirkung des Reizes unterstützt wird. Wenn nun aber die Größe der Assimilirung mit abhängig ist von der Menge des zur Assimilirung bereitstehenden Materiales, und dieses durch die vorangegangene Reizung erheblich gemindert ist, so kann in Folge dessen die Assimilirung nach Schluß der Reizung noch schwächer

werden als die Dissimilirung, was im verdunkelten Auge eine Nachempfindung bedingen muß, welche heller ist als das neutrale Grau. Allmälig wird sich dann das mehr oder weniger erschöpfte Assimilirungsmaterial wieder aus dem Blute ergänzen und damit auch die Assimilirung wieder zu-, die Helligkeit der Nachempfindung wieder abnehmen.

Es ist also unter dem Einflusse des Lichtreizes eine doppelte Art der Ermüdung des beleuchteten Theiles denkbar; die eine verräth sich durch eine geminderte *D*-Erregbarkeit und beruht auf der Abnahme der erregbaren Substanz, die andere ist die Folge der mehr oder minder großen Erschöpfung des Assimilirungsmateriales. Wir können diese beiden Arten der Ermüdung als *D*-Ermüdung und *A*-Ermüdung unterscheiden. Es ist diese Unterscheidung nicht blos für die Physiologie der Sehsubstanz, sondern auch für die der irritablen Substanzen überhaupt unentbehrlich.

Blickt man in die Sonne, so erhält man im nachher verdunkelten Auge ein lang andauerndes helles Nachbild. Man erklärt es jetzt, wie alle solche positiven Blendungsbilder, aus einer Fortdauer der Erregung. Nun sollte man meinen, daß, wenn dies richtig ist, beim Einfallen neuen Lichtes, z. B. beim Blicke auf eine helle weiße Fläche, diese Erregung noch gesteigert werden und das Nachbild noch heller erscheinen müßte als im geschlossenen Auge; statt dessen aber erscheint es vielmehr dunkler und manchmal sehr viel dunkler.

Wenn ich eine schwarze Scheibe auf weißem Grunde $^1/_2$ — 1 Minute lang fixire, und dann die Augen verdunkle, so sehe ich ein helles Nachbild der Scheibe; dasselbe leuchtet im inducirten Lichte und zwar oft ebenso hell wie das positive Nachbild der Sonne. Blicke ich dann auf eine hellweiße Fläche, so wird dieses helle Nachbild noch viel heller. Es tritt also, verglichen mit dem vorigen Versuche, das gerade Gegentheil ein.

Die Helmholtz'sche Theorie muß sich aus diesem auffallenden Widerspruch durch die unbewußten „falschen Urtheile und Schlüsse“ heraushelfen, indem sie annimmt, das im verdunkelten Auge helle Blendungsnachbild der Sonne werde, wenn man auf eine helle Fläche blickt, wirklich noch heller „empfunden“ als

vorher im verdunkelten Auge, aber man halte es gleichwohl für dunkel oder schwärzlich, weil man jetzt seine Helligkeit mit der viel größeren Helligkeit der übrigen weißen Wand vergleiche; im Gegensatze zu diesem Weiß erscheine Einem nun das Nachbild dunkel, während man es im geschlossenen Auge im Gegensatz zu dem „Eigenschwarz“ der Netzhaut für hell halte. Diese psychologische Theorie verkehrt also hier entschiedenes Dunkel in angebliches Hell. Umgekehrt verfährt sie mit dem Nachbilde der schwarzen Scheibe, welches im verdunkelten Auge ebenfalls hell ist. Von diesem behauptet sie, es werde eigentlich schwärzlich empfunden, d. h. es habe nur jene sehr schwache Helligkeit, welche der Augengrund zeigt, wenn man das Auge ½—1 Minute lang verdunkelt hatte; man halte aber gleichwohl das Nachbild für hell leuchtend, weil die übrige Netzhaut wegen der vorangegangenen Ermüdung noch viel dunkler sei als gewöhnlich. Daß häufig bei diesem Versuche der Augengrund im nachher verdunkelten Auge gar nicht dunkler ist als gewöhnlich, sondern manchmal sogar heller, wird dabei übersehen. Hier verkehrt also diese Theorie entschiedenes Hell in angebliches Dunkel.

Überhaupt nimmt diese Theorie der Nachbilder, wie sie hauptsächlich Helmholtz entwickelt hat, auf die wirkliche oder absolute Helligkeit und Dunkelheit der Nachbilder gar keine Rücksicht, sondern fragt nur nach der relativen[1]); sie erklärt nur, warum in einem positiven oder negativen Nachbilde das Nachbild heller oder dunkler ist als der Grund; wie hell oder dunkel aber beide sind, kümmert sie nicht.

Meine Theorie hingegen erklärt, was man wirklich sieht, also auch warum z. B. das helle positive Nachbild der Sonne dunkel, das helle negative Nachbild der schwarzen Scheibe noch heller wird, wenn man auf eine helle Fläche blickt.

Letzteres habe ich schon oben erklärt. Während der Betrachtung der schwarzen Scheibe auf hellem Grunde wurde die Assimilirung und damit die *D*-Erregbarkeit an der dunklen Stelle gesteigert. Nach Schluß der Reizung bewirken daher die innern *D*-Reize hier eine stärkere Dissimilirung und das neu hinzukom-

---

[1]) Vergl. insbesondere Helmholtz, Physiologische Optik. S. 363.

mende Licht findet eine größere D-Erregbarkeit an dieser Stelle vor als im übrigen. Daraus folgt die Helligkeit des Nachbildes und die Steigerung dieser Helligkeit, wenn man auf eine weiße Fläche blickt. Während der Betrachtung der Sonnenscheibe findet dagegen an der direct gereizten Stelle nicht nur eine sehr starke Dissimilirung, sondern auch eine sehr bedeutende, wenngleich minder starke Assimilirung statt; durch erstere wird die erregbare Substanz und das D-Vermögen stark gemindert, durch letztere das vorhandene A-Material rasch verbraucht. Hieraus resultirt nachher im verdunkelten Auge eine Empfindung, welche auf einer nur schwachen Dissimilirung unter dem Einflusse der innern Reize und auf einer noch schwächeren Assimilirung beruht, also eine Empfindung, die zwar hell ist, aber ein sehr kleines Gewicht hat. Lasse ich nun starkes Licht auf die ganze Netzhaut fallen, so bewirkt dieses an der Stelle des Nachbildes wegen der hier stark herabgesetzten D-Erregbarkeit eine nur sehr kleine absolute Zunahme der Dissimilirung, die Assimilirung dieser Stelle aber wird von der ganzen übrigen Netzhaut her durch die große Dissimilirung derselben sehr unterstützt, und da wegen der Kleinheit der Dissimilirung nur ein kleiner absoluter Zuwachs der Assimilirung nöthig ist, um letztere größer werden zu lassen als erstere, und das Nachbild entsprechend zu verdunkeln, so geschieht dies bei starker Beleuchtung wirklich, obwohl das Assimilirungsmaterial an dieser Stelle so stark erschöpft ist.

Wenn man die ganze Netzhaut grell beleuchtet, indem man z. B. gegen eine weit ausgebreitete sonnenbeschienene Wand blickt, oder die geschlossenen Augen gegen die Sonne wendet, und man verdunkelt dann die Augen, so sieht man keineswegs ein tiefes Schwarz, sondern längere Zeit einen Lichtnebel, der viel heller ist, als der nach längerer Ruhe des Auges sichtbare. Dies hat ebenfalls seinen Grund in dem starken Verbrauch des A-Materiales während der Reizung.

Die soeben angeführten und zahlreiche andere Thatsachen, welche sich aus der Annahme einer besonderen A-Ermüdung unter dem Einflusse des Lichtes erklären, liefern mir umgekehrt auch den Beweis für die Richtigkeit der im §. 32 gemachten Annahme, daß der Lichtreiz nicht blos unmittelbar durch Steige-

rung der Dissimilirung, sondern auch mittelbar durch Steigerung der Assimilirung in dem gereizten Theile und dessen Umgebung wirkt; dies hat die *A*-Ermüdung der gereizten Stelle zur Folge, an welcher diese indirecte Wirkung am stärksten ist.

In die unerschöpfliche Mannigfaltigkeit der Nachbilder im geschlossenen Auge kommt Ordnung und Klarheit, wenn man neben der *D*-Ermüdung zugleich die *A*-Ermüdung in Rechnung zieht. Berücksichtigt man hierbei auch immer die Wechselwirkung der einzelnen Theile, welche im verdunkelten Auge unter dem Einflusse der inneren Reize ganz analog stattfindet, wie im offenen, dem Lichtreize ausgesetzten Auge, bedenkt man, daß diese Wechselwirkungen in der Nähe der Conturen immer am stärksten sind, wodurch die „Säume“ und „Randscheine“ (Fechner) der Nachbilder entstehen, so ist man hinreichend ausgerüstet, um die Untersuchung dieser Erscheinungen da wieder aufzunehmen, wo sie Fechner leider abbrechen mußte, und auf Grund der classischen Untersuchung dieses Forschers weiter zu bauen. Meine späteren Mittheilungen werden, wie ich hoffe, diese Behauptung mehr und mehr rechtfertigen. Hier wollte ich nur den leitenden Faden zeigen, der, wie ich meine, durch dieses Labyrinth von Erscheinungen führen kann.

Selbstverständlich kommt die *A*-Ermüdung oder Minderung des *A*-Vermögens auch bei den in den früheren Paragraphen besprochenen Erscheinungen vielfach in Betracht. Da ich aber die Darstellung nicht gleich vom Anfang an auch durch Berücksichtigung dieses Factors, der dort nur das Maaß, nicht die Richtung der Erscheinung ändert, compliciren wollte, so habe ich vorläufig davon abgesehen.

§. 36.

Über Plateau's Theorie.

Ich habe im Obigen nur auf die jetzt ziemlich allgemein angenommene und insbesondere von Helmholtz entwickelte Theorie kritische Rücksicht genommen, die Theorie Plateau's aber ganz vernachläßigt. Derselbe Vorwurf, den ich der erstgenannten Theorie machen mußte, daß sie nämlich einen Theil der Thatsachen aus dem Zusammenhange der übrigen herausreißt und mit der Erklärung dieses Theiles das Ganze erklärt

zu haben meint, trifft in noch höherem Maße die Plateau'sche Theorie.

Nach Plateau kehrt die durch äußere Reize „aus ihrem Normalzustande gerissene und plötzlich sich selbst überlassene Netzhaut gleich einer Feder durch eine Oscillationsbewegung in ihren Normalzustand zurück, so daß der Eindruck wechselweise in die beiden entgegengesetzten Zustände übergeht.“ [1]) Als solche entgegengesetzte Zustände sieht er Weiß und Schwarz, sowie je zwei complementäre Farben an, sonderbarerweise aber so, daß zwar Schwarz als negativer Zustand dem Weiß als positivem entgegengestellt wird, eine und dieselbe Farbe aber bald als positiver bald als negativer Zustand aufgefaßt wird, je nachdem sie objectiven oder rein subjectiven Ursprungs ist. Das abwechselnde Verschwinden und Wiedererscheinen der Nachbilder im verdunkelten Auge, sowie die Contrast- und Inductionserscheinungen, welche letztere er von der physikalischen Irradiation nicht streng scheidet, bildeten die Ausgangspunkte seiner Theorie.

Abgesehen davon, daß die ganze Theorie im günstigsten Falle nur auf ein zutreffendes Bild, nicht aber auf eine eigentliche Erklärung hinauslaufen würde, ist es nicht einmal zutreffend, daß die „Oscillationen“ immer um den Normalzustand (dies wäre mein mittles Grau) erfolgen. Ferner läßt Plateau aus zwei complementären Farben bald Weiß bald Schwarz entstehen, je nachdem sie objectiv oder subjectiv sind. Er stützt sich dabei lediglich auf einen Versuch, aus welchem man, wie schon Fechner angab, wenn man ihn etwas abändert, ebenso gut das Gegentheil von dem beweisen kann, was Plateau damit beweisen wollte. Plateau's Behauptung, daß zwei complementäre Farben, je nachdem sie objectiv oder subjectiv sind, Weiß oder Schwarz erzeugen können, ist ebenso willkürlich und paradox, wie die Behauptung von Helmholtz, daß ein und derselbe Zustand einer Stelle des Sehorganes bald weiß bald schwarz wahrgenommen werden kann, je nachdem die Umgebung der Stelle dunkler oder heller erscheint, als die letztere selbst.

Analog der zeitlich ausgebreiteten, nahm Plateau auch räumlich ausgebreitete Oscillationen der Netzhaut an. Hierbei

[1]) Über das Phänomen der zufälligen Farben. Poggendorff (Annal. d. Physik 32. Bd. 1834, S. 543).

stützte er sich auf die Irradiation, welche er für rein subjectiv nahm, und auf die Contrasterscheinungen. Eine Erklärung der letzteren war damit auch nicht gegeben, sondern nur eine bildliche Umschreibung und Zusammenstellung der Thatsachen.

Ich verkenne nicht das Verdienst Plateau's, erkannt zu haben, daß Schwarz und Weiß auf physiologischen Gegensätzen und nicht blos auf graduellen Verschiedenheiten desselben physiologischen Processes beruhen; auch stimme ich ihm, wie die folgenden Mittheilungen zeigen werden, darin bei, daß complementäre Farben physiologische Gegensätze sind. Wer aber letzteres annehmen will, darf consequenterweise nicht annehmen, daß complementäre Farben sich zu Weiß oder Schwarz ergänzen, und noch weniger, daß dieselben complementären Farben zusammen bald Weiß und bald Schwarz geben.

Im jedem Irrthum liegt etwas Wahres, und so enthält auch die Plateau'sche Oscillationstheorie ebenso wie die Ermüdungstheorie selbstverständlich viel Richtiges. Gerade auf diejenigen Thatsachen, welche Helmholtz gar nicht zu erklären vermag und deshalb nur psychologisch umschreibt, stützt sich die Theorie Plateau's. Daß sich die Vorzüge beider Theorien bei gleichzeitiger Vermeidung ihrer Fehler in einer umfassenderen Theorie vereinigen lassen, dafür liefert, wie ich meine, die hier aus neuen Gesichtspunkten entwickelte Theorie den Beweis.

§. 37.

Schlußbemerkungen.

Ich bin weit entfernt zu glauben, daß die hier entwickelte Theorie endgiltig richtig ist, doch meine ich, daß sie der Wahrheit wesentlich näher kommt, als die jetzt übliche. Im Einzelnen wird manches noch zu verbessern sein, und der Grundgedanke der ganzen Theorie wird später, auch wenn er richtig ist, den weiteren Fortschritten der Chemie und Physik entsprechend anders ausgedrückt werden müssen. Ferner wird gerade mein Bestreben, an die jetzt geltenden Sätze der allgemeinen Nervenphysiologie möglichst anzuknüpfen, es später bedingen, daß die fortschreitende Erkenntniß des Wesens der Nerventhätigkeit auch diese Theorie modificiren wird.

Auch möchte ich die hier vorliegende Skizze nur als Programm für die späteren ausführlichen Mittheilungen betrachtet wissen. Wenn sie auch das Ergebniß langer Beschäftigung mit dem Gegenstande ist, so ist doch dieser Gegenstand selbst fast unerschöpflich, und insbesondere sind durch die im Wesentlichen aus den Hauptphänomenen abgeleitete Theorie eine große Menge Specialfragen neu angeregt oder wenigstens der Untersuchung erst zugänglich geworden, die sich nur durch größere und zum Theil messende Versuchsreihen erledigen lassen.

Wie ich mich bemüht habe, bei meinen psychologisch-optischen Untersuchungen nie die Fühlung mit der allgemeinen Physiologie und besonders der Nervenphysiologie zu verlieren, so bin ich auch der Meinung, daß die letztere durch Untersuchungen, welche nach der Methode der vorliegenden geführt werden, bedeutend gefördert werden könne. Denn ich war immer der Ansicht, daß die großen Aufgaben, welche der Physiologie und insbesondere der Nervenphysiologie gestellt sind, am zweckmäßigsten, ähnlich einer Tunnelbohrung, von zwei Seiten zugleich in Angriff genommen werden, nämlich nicht nur von der physikalisch-chemischen Seite, sondern auch von der psychischen. Die Richtung, in welcher von beiden Seiten gearbeitet werden muß, ist bereits klar vorgezeichnet, und das ideale Ziel, wo dereinst die Arbeiter zusammentreffen sollen, kennen wir auch. Dieses Ziel ist zugleich die Grundvoraussetzung der ganzen Arbeit. Als Ziel genommen ist es die Erkenntniß des causalen Zusammenhanges alles physischen Geschehens auf der einen, alles psychischen Geschehens auf der anderen Seite; als Voraussetzung genommen ist es die gesetzmäßige Abhängigkeit beider Arten des Geschehens von einander.

Sechste Mittheilung.

Grundzüge einer Theorie des Farbensinnes.

(Vorgelegt in der Sitzung am 15. Mai 1874.)

§. 38.

Das natürliche System der Farbenempfindungen.

Der Grundsatz, daß die Mannichfaltigkeit der Licht- und Farbenempfindungen zunächst nur auf Grund ihrer inneren Verwandtschaft zu ordnen sei, führte (vergl. meine IV. Mittheil.) zur Einordnung aller farblosen Gesichtsempfindungen in eine Reihe, welche ich nach ihren beiden Endgliedern als die schwarzweiße bezeichnet habe. In analoger Weise lassen sich nun auch die farbigen Empfindungen in Reihen ordnen. Wir wir nämlich im Grau, trotz seiner besonderen Qualität, doch eine offenbare nahe Verwandtschaft zum Schwarz und Weiß bemerken und gleichsam beide zugleich darin sehen, so sehen wir auch z. B. im Violett Roth und Blau zugleich, nur keines voll entwickelt, was sich auch dadurch verräth, daß wir es unbedenklich als Blauroth oder Rothblau bezeichnen.

Alle Farben nun, welche zugleich Roth und Blau, wenn auch in den verschiedensten Verhältnissen, zu enthalten scheinen, lassen sich in eine Reihe ordnen, deren beide Endglieder einerseits das reinste Roth, anderseits das reinste Blau sind. Analoges gilt von allen blaugrünen, gelbrothen und gelbgrünen Farben.

Denken wir uns eine Farbenreihe, welche in stetiger Folge erstens alle Übergänge vom Gelb zum Grün und weiterhin vom Grün zum Blau enthält und also dem zwischen Gelb und Blau gelegenen Theile des Spectrums entspricht, so haben alle Glieder dieser Reihe mit Ausnahme der Endglieder (Gelb und Blau) etwas Gemeinsames darin, daß sie sämmtlich Grün enthalten.

Das reine Grün aber bildet einen ausgezeichneten Punkt in der Reihe insofern, als es sich von allen Farben der einen Seite dadurch unterscheidet, daß es kein Gelb, von den Farben der anderen Seite dadurch, daß es kein Blau enthält. Es entspricht demnach der Stelle in der Reihe, wo die Beimischung von Gelb eben ganz aufgehört, aber die Beimischung von Blau noch nicht erkennbar begonnen hat. Für diese Empfindung also, welche weder Blau noch Gelb (noch Roth) enthält, haben wir deshalb auch einen besonderen Namen; denn Gelbblau oder Blaugelb könnten wir sie nicht nennen, weil wir eben in ihr nicht diese beiden Farben zugleich, sondern keine von beiden sehen. Die relative Einfachheit dieser grünen Empfindung verglichen mit der Zweifarbigkeit ihrer Nachbarn, verschafft ihr eine ausgezeichnete Stelle in der genannten Farbenreihe.

Man könnte meinen, daß diese Eigenthümlichkeit nur dem Grün des Spectrums zukomme, daß es aber sonstwo ein Grün geben könne, welches, wenn es auch vorherrschend grün sei, doch zugleich in's Blaue und Gelbe spiele. Aber dies ist bekanntlich nicht der Fall. Man betrachte irgend ein beliebiges Grün, und man wird es entweder für reines Grün nehmen, oder man wird finden, daß es *entweder* in's Blaue sticht *oder* in's Gelbe, nie aber in beide Farben zugleich. Die sogenannten Schillerfarben machen von dieser Regel selbstverständlich nur eine scheinbare Ausnahme. Wenn man ein Grün, das man für reines genommen hat, neben Blau hält, so wird es vielleicht einen Stich in's Gelbe annehmen, wenn man es neben Gelb hält, einen Stich in's Blaue; legt man es aber zwischen Blau und Gelb, so wird es wieder rein erscheinen, oder, wenn dies nicht der Fall ist, entweder in's Gelbe oder in's Blaue spielen und wieder nicht in beide Farben zugleich.

Solche Farben, die gleichsam ohne jeden Beigeschmack einer anderen Farbe vorkommen können, oder wenn sie einen solchen deutlich erkennbar haben, doch nur in eine, nie aber in zwei andere zugleich spielen können, gibt es außer dem *Grün* nur noch drei, nämlich *Roth*[1]), *Blau* und *Gelb*. Gelb kann

[1]) Dieses reine Roth entspricht nicht dem Spectralroth, welches gelblich ist.

in's Rothe oder in's Grüne, nicht aber in's Blaue, Blau nur entweder in's Rothe oder in's Grüne, Roth nur entweder in's Gelbe oder in's Blaue spielen. Diese vier Farben kann man also mit vollem Rechte, wie dies schon Leonardo da Vinci that, als einfache oder Grundfarben bezeichnen. Deshalb hat auch die Sprache für sie einfache und nicht von farbigen Naturkörpern entlehnte Bezeichnungen, mögen dieselben ursprünglich entlehnt worden sein oder nicht.

Alle übrigen Farben können wir insofern zusammengesetzte oder Mischfarben nennen, als sich immer zwei Farben in ihnen zugleich erkennen lassen. Mehr als zwei einfache Farben aber lassen sich aus keiner zusammengesetzten Farbe herausempfinden.

Anders ausgedrückt heißt dies, daß einerseits Roth und Grün, andererseits Gelb und Blau nie gleichzeitig in einer Farbe deutlich bemerkbar sind.

Warum sich dies so verhält, ist von vornherein nicht einzusehen, aber es ist so. Es kann Einer einen bereits hochentwickelten Farbensinn haben, ohne daß er sich diese merkwürdige Thatsache schon zum Bewußtsein gebracht hat. So gut es Farben gibt, in denen man zugleich Roth und Gelb sieht, so gut sollte es doch auch Farben geben können, in denen man zugleich Roth und Grün sieht. Denn die rothe Empfindung zeigt doch (abgesehen von den physikalischen und physiologischen Bedingungen, unter denen sie entsteht) zur grünen so viel und so wenig einen Gegensatz wie zur gelben. Und wenn wir auch zwischen Roth und Grün einen besonderen Gegensatz bemerken könnten, was aber durchaus nicht der Fall ist, so wäre dies doch noch immer kein hinreichender Grund, die gleichzeitige Anwesenheit beider Farben in einer Mischfarbe auszuschliessen. Weiß und Schwarz, ebenfalls zwei einfache oder Grundempfindungen des Sehorganes, fassen wir gern als gegensätzlich auf, und doch glauben wir beide zugleich im Grau zu empfinden. Warum soll es also keine Farbe geben, die zugleich Roth und Grün, oder Gelb und Blau zu enthalten scheint? Eine Antwort hierauf ist vorerst unmöglich.

In den Lehrbüchern der Physik ist freilich zu lesen, daß Roth und Grün, wie auch Gelb und Blau zusammen Weiß geben.

Aber dies hat nur Sinn, wenn man unter Roth und Grün nicht Empfindungen, sondern Ätherschwingungen versteht. Denn zu sagen, im Weiß werde gleichzeitig Roth und Grün, oder Gelb und Blau so empfunden, wie man im Violett gleichzeitig Roth und Blau empfindet, wäre doch paradox.

Es muß irgendwie in der Natur unseres Sehorgans begründet sein, daß das Vorhandensein einer deutlich rothen Empfindung die deutlich grüne an derselben Stelle ausschließt, das Vorhandensein der blauen die gelbe und umgekehrt. Denn logisch läßt sich die Thatsache nicht begründen, und vorerst ist es ganz gut denkbar, daß es noch einmal gelingt, Bedingungen herzustellen, unter welchen uns eine z. B. aus Roth und Grün gemischte Empfindung entsteht, oder daß es Wesen gibt, welche eine solche Empfindung öfter haben.

Um einen kurzen Ausdruck für die sich gegenseitig ausschließenden Grundfarben zu haben, will ich sie wegen ihres sozusagen feindseligen Verhaltens zu einander Gegenfarben nennen.

Von einer Farbe zu ihrer Gegenfarbe läßt sich keine stetige Reihe von farbigen Übergängen bilden, wenn man nicht eine dritte Grundfarbe zu Hilfe nimmt. Vom Roth zum Blau oder Gelb läßt sich eine stetige Reihe von Übergangsfarben herstellen, zum Grün aber nur dann, wenn man z. B. das Roth erst in's Blau und dieses wieder in's Grüne übergehen läßt. Statt des Blau könnte man aber auch das Gelb benützen.

Im sogenannten Farbencirkel wird dies Alles unmittelbar anschaulich. Man erhält einen solchen bekanntlich, wenn man einen Kreis in seine Quadranten theilt, an jeden Theilpunkt eine der vier Grundfarben derart anbringt, daß zwei Gegenfarben sich diametral gegenüber liegen, und dann auf jeden Quadranten in stetiger Reihe die Übergangsfarben derjenigen beiden Grundfarben aufträgt, welche an seinen Endpunkten liegen. Ein solcher Farbenkreis enthält alle überhaupt vorkommenden Farben oder Farbentöne.

Jede einfache Farbe hat wieder eine einfache, jede Mischfarbe wieder eine Mischfarbe als Gegenfarbe.

§. 39.

Von den Farbennuancen.

Jeder beliebige Farbenton kann in sehr verschiedener Reinheit auftreten. Man nennt im gewöhnlichen Leben die möglichst rein erscheinende Farbe wohl auch gesättigt. Wir könnten also die verschiedenen Grade der Reinheit auch als Grade der Sättigung bezeichnen; nur müßten wir bedenken, daß wir dann auch mit demselben Rechte von gesättigtem Weiß und Schwarz sprechen könnten. Auf die einseitige Verwendung des Begriffes der Sättigung in der modernen Farbenlehre komme ich anderwärts zurück. Jedenfalls drückt das Wort Reinheit das, worauf es ankommt, treffender aus, als das Wort Sättigung.

Die Beimischungen, durch welche die Reinheit eines empfundenen Farbentones beeinträchtigt wird, sind nur die schwarzweißen Empfindungen, denn jede Beimischung einer anderen Farbenempfindung würde den Ton, nicht die Reinheit der gegebenen Farbe ändern. Eine Grundfarbe kann allerdings eigentlich auch durch eine andere verunreinigt werden, aber das pflegt man eben eine Änderung des Tones zu nennen. Wie eine absolut reine Farbenempfindung sein würde, wissen wir nicht, denn alle wirklich vorkommenden Farbenempfindungen sind mehr oder weniger unrein.

Die Verunreinigung einer Farbe kann durch jedes beliebige Glied der schwarzweißen Empfindungsreihe stattfinden. Mischt sich einer Farbe eine dem Weiß naheliegende Empfindung dieser Reihe bei, so wird die Farbe weißlich, Beimischung einer sehr dunklen schwarzweißen Empfindung macht die Farbe schwärzlich, Beimischung einer dem mittlen Grau naheliegenden Empfindung läßt die Farbe in's Graue spielen.

Alle diese Übergänge zwischen einer ideal reinen Farbe einerseits und einem beliebigen Gliede der schwarzweißen Empfindungsreihe anderseits will ich, um einen bereits üblichen Ausdruck zu benutzen, als Nuancen der Farbe bezeichnen. Wir haben also schwarze, weiße, hellgraue, dunkelgraue, mittelgraue etc. Nuancen jeder Farbe zu unterscheiden.

Denkt man sich ein gleichseitiges Dreieck, an dessen einer Ecke eine absolut rein gedachte einfache oder zusammengesetzte

Farbe, an dessen beiden anderen Ecken das ideale Weiß einerseits, das ideale Schwarz anderseits liegt, so lassen sich auf der Fläche dieses Dreiecks alle überhaupt denkbaren Nuancen der gewählten Farbe, z. B. des Grün in stetigen Übergängen untergebracht denken. Auf jeder der schwarzweißen Seite parallelen Geraden, die ich in das Dreieck lege, kann ich alle Nuancen von gleich großer Reinheit oder Unreinheit untergebracht denken, auf jeder zur grünschwarzen Seite parallelen Linie alle Nuancen von gleicher Weißlichkeit, auf jeder zur grünweißen Seite parallelen Linie alle Nuancen von gleicher Schwärzlichkeit.

In jedem Punkte dieses Nuancirungsdreieckes ist dann die Reinheit oder Sättigung der entsprechenden farbigen Empfindung dem Abstande von der schwarzweißen Seite, die Weißlichkeit dem Abstande von der grünschwarzen Seite, die Schwärzlichkeit dem Abstande von der grünweißen Seite proportional.

So viele Farbentöne, so viele Nuancirungsdreiecke sind möglich.

Mit den möglichst reinen Farben des Farbenkreises und den Übergängen jeder einzelnen Farbe zu jedem beliebigen Gliede der schwarzweißen Reihe, also mit den Farbentönen und allen ihren Nuancen sind, praktisch genommen, alle überhaupt vorkommenden farbigen Empfindungen erschöpft.

Denn möge sich nun eine Farbenempfindung ändern wie sie wolle, so kann sie nur entweder ihren Ton oder ihre Reinheit ändern, und letzteren Falls kann sie nur entweder mehr oder minder schwärzlich oder weißlich oder graulich werden.

Ich sagte, daß mit den Farbentönen und ihren Nuancen alle farbigen Empfindungen praktisch genommen erschöpft sind; theoretisch genommen sind sie es nicht, weil, wie schon gesagt wurde, a priori nicht einzusehen ist, warum es nicht auch Empfindungen geben soll, in denen zwei Gegenfarben zugleich enthalten sind, obwohl uns in Wirklichkeit kein solcher Fall sicher bekannt ist. Man muß bedenken, daß wir in einem Empfindungsgemische — und jede wirklich vorkommende Gesichtsempfindung ist ein solches — immer nur die besonders hervorstechenden einfachen Empfindungen auch besonders bemerken, daß aber mancherlei darin enthalten sein kann, was deutlich zu unterscheiden uns nicht möglich ist, obwohl es doch zum Gesammtcharakter des Empfindungsgemisches, d. h. zu dessen Qualität einen gewissen Beitrag liefern kann. So scheint es mir von vornherein fraglich, ob im sogenannten reinen, d. h. farblosen Grau wirklich nur Weiß

und Schwarz enthalten ist, wenn es auch an keine Farbe deutlich erinnert und ich eben nur jene beiden einfachen Empfindungen herausfinden kann. Gesetzten Falls, die vier andern einfachen Gesichtsempfindungen, d. h. die vier Grundfarben wären mit darin enthalten, aber äußerst schwach, und wären daher gleichsam unter der Schwelle, so würde ich sie doch nicht herausempfinden können. In der That macht mir reines Grau den Eindruck einer gewissen Farbigkeit, obwohl ich neben dem Schwarz und Weiß keine einzige Farbe deutlich darin zu bemerken vermag.

Auf solche möglicherweise vorhandene, aber unter der Schwelle befindliche Beimischungen ist im Obigen nicht Rücksicht genommen.

Eine Kritik dessen, was man jetzt unter Lichtstärke (Helmholtz) oder Intensität (Aubert), Sättigung (Helmholtz) und Nuance (Aubert) einer Farbe versteht, werde ich später ausführlich geben und die Widersprüche aufdecken, in welche man dadurch gerathen ist, daß man immer wieder die Empfindung mit ihren physikalischen Ursachen vermengte.

§. 40.

Von der Helligkeit und Dunkelheit der farbigen Empfindungen.

Jede wirklich vorkommende farbige Empfindung, sei sie nun durch homogenes Licht oder durch Pigmente oder sonstwie entstanden, hat etwas Schwärzliches und Weißliches in sich und erscheint deshalb dem Schwarz und Weiß verwandt, bald mehr dem einen, bald mehr dem andern, bald beiden gleichviel. Diese beiden Empfindungen sind eben jeder Farbenempfindung beigemischt, wenn auch in sehr verschiedenem Verhältniß.

Gäbe es absolut reine Farbenempfindungen, was nicht der Fall ist, so würden uns diese dem reinen Weiß eben so wenig verwandt erscheinen als dem reinen Schwarz; vom letzteren würden sie sich ebenso lebhaft unterscheiden wie das Weiß, und vom Weiß ebenso sehr wie das Schwarz. Dies ist eine logische Nothwendigkeit. Denn Empfindungen, die gar nichts Gemeinsames hätten, wären an sich incommensurabel. Zwei absolut reine Grundempfindungen aber würden, abgesehen von ihren zeitlichen und räumlichen Eigenschaften, wirklich nichts Gemeinsames haben. Dem absolut reinen Roth stände das absolut reine Blau oder Grün ebenso unähnlich gegenüber wie das absolut reine Weiß. Darauf, daß die absolut reinen Farben ebenso wie das Weiß sämmtlich gar keine Spur von Schwarz enthalten würden, liesse sich kein Verwandtschaftsverhältniß dieser ganz

schwarzlosen Empfindungen gründen, denn Süß und Sauer enthalten auch keine Spur von Schwarz. Ebenso könnte daraus, daß die absolut reinen Farben gleich dem idealen Schwarz gar kein Weiß enthalten würden, keine Verwandtschaft dieser absolut weißlosen Farben untereinander abgeleitet werden.

Aber allerdings kann man die Begriffe der Helligkeit und Dunkelheit, die bei den farblosen Empfindungen identisch sind mit der Weißlichkeit und Schwärzlichkeit, dahin erweitern, daß man alle Gesichtsempfindungen, mit Ausnahme des absoluten Schwarz, mehr oder minder hell nennt, und alle, mit Ausnahme des absoluten Weiß, mehr oder minder dunkel. Eine absolut reine Farbenempfindung wäre hienach hell und dunkel zugleich oder gleich hell wie dunkel und zwar deshalb, weil sie eben so wenig eine Spur vom Schwarz als vom Weiß enthalten würde. Demnach wäre die absolut reine Farbe in Bezug auf Helligkeit und Dunkelheit gleichwerthig mit dem neutralen oder mittlen Grau, welches ebenfalls gleich hell wie dunkel ist, nur mit dem Unterschiede, daß die reine Farbe deshalb gleich hell wie dunkel ist, weil sie vom Weiß so wenig enthält wie vom Schwarz, nämlich gar nichts, während das neutrale Grau deshalb gleich hell wie dunkel ist, weil es gleich viel Weiß wie Schwarz enthält.

Wir können demnach sagen, daß die absolut reinen Farben, gleich dem mittlen Grau, Empfindungen von gleich großer Helligkeit wie Dunkelheit, oder von mittler Helligkeit oder Dunkelheit sein würden.

Diese Überlegung gestattet nun, ganz bestimmt anzugeben, wovon das abhängt, was man im gemeinen Leben die Helligkeit einer Farbenempfindung nennt.

Eine farbige Empfindung wird bei gleichbleibender Reinheit oder Sättigung heller, wenn sich das Verhältniß des gleichzeitig in ihr empfundenen Weiß und Schwarz zu Gunsten des Weiß ändert, dunkler, wenn es sich zu Gunsten des Schwarz ändert; anders gesagt, wenn die der Farbenempfindung beigemischte schwarzweiße Empfindung, ohne ihr Verhältniß zur ersteren zu ändern, weißlicher oder schwärzlicher wird.

Mindert eine farbige Empfindung ihre Reinheit oder Sättigung dadurch, daß die ihr beigemischte schwarzweiße Empfindung, ohne aber dabei ihre Helligkeit (Weißlichkeit und Schwärz-

lichkeit) zu ändern, stärker hervortritt, so kann dabei die Farbe heller oder dunkler werden, oder auch gleich hell bleiben. Letzteres dann, wenn die beigemischte schwarzweiße Empfindung das mittlere Grau ist; heller wird sie, wenn die beigemischte Empfindung weißlicher ist als mittles Grau, dunkler, wenn sie schwärzlicher ist als mittles Grau.

Mehrt sich die Sättigung oder Reinheit einer Farbe dadurch, daß die beigemischte farblose Empfindung, ohne ihre Helligkeit zu ändern, mehr zurücktritt, so ändert sich die Helligkeit der farbigen Empfindung gar nicht, wenn die Beimischung mittelgrau; die Helligkeit wird kleiner, wenn die Beimischung weißlicher, sie wird größer, wenn die Beimischung schwärzlicher ist, als das mittle Grau.

Aus dem Gesagten läßt sich nun auch leicht ableiten, ob und wie eine farbige Empfindung ihre Helligkeit ändert, wenn sich nicht nur ihre Reinheit, sondern zugleich auch die Helligkeit der ihr beigemischten farblosen Empfindung ändert. In dem oben beschriebenen Nuancirungsdreiecke liegen alle Nuancen der betreffenden Farbe, die gleich hell wie dunkel oder mittelhell und mitteldunkel sind, auf einer Geraden, welche die farbige Ecke des Dreieckes mit dem Mittelpunkte der schwarzweißen Seite verbindet, und auf jeder Geraden, welche ich parallel zu dieser Linie in das Dreieck gelegt denke, befinden sich Nuancen von gleicher Helligkeit, und zwar ist die Helligkeit jeder beliebigen Nuance proportional dem Abstande der Helligkeitslinie, auf der sie liegt, von der schwarzen Ecke des Dreieckes.

Es kann also eine Farbe, während sie reiner oder gesättigter wird, das einemal heller, das anderemal dunkler werden und anderseits kann sie ohne Änderung ihrer Reinheit heller oder dunkler werden.

Da man somit unter dem Hellerwerden einer farbigen Empfindung eine Zunahme bald der Weißlichkeit, bald der Reinheit versteht, unter dem Dunklerwerden eine Zunahme bald der Schwärzlichkeit, bald der Reinheit, so taugt dieser Doppelsinnigkeit wegen der Begriff der Helligkeit oder Dunkelheit nicht zu präcisen Bezeichnungen.

Meiner Behauptung, daß die absolut reinen Farben alle gleich hell und gleich dunkel sein würden, scheint der Umstand zu widersprechen, daß

die Spectralfarben, welche sich den absolut reinen mit am meisten nähern, eine so verschiedene Helligkeit zeigen. So ist beispielsweise das Gelb im Spectrum des zerstreuten Tageslichtes viel heller als das Blau. Dies hat aber seinen Grund darin, daß dieses Gelb viel mehr Weiß enthält als das Blau, wie man dies auch sofort erkennt. Da nun das Gelb oder das Blau der Pigmente eben auch nichts weiter ist, als zurückgeworfenes Spectralgelb oder Spectralblau, nur noch stark versetzt mit gemischtem farblosen Lichte, so ist begreiflich, daß auch die gelben Pigmente durchschnittlich heller erscheinen als die blauen. Daher kann das Vorurtheil entstehen, daß auch die absolut reinen Farben verschiedene Helligkeit besitzen würden. Eine später zu gebende physiologische Analyse des Spectrums wird dies näher zu erörtern haben.

§. 41.

Von der numerischen Bezeichnung der farbigen Empfindungen.

Dasselbe Princip, nach welchem im §. 22 die einzelnen schwarzweißen Empfindungen bezeichnet wurden, läßt sich auch auf die farbigen Empfindungen anwenden.

Keine der vier Grundfarben kommt, auch wenn sie im Tone ganz rein wäre, jemals wirklich rein zur Empfindung, sondern hat immer einen Zusatz von Schwarzweiß, d. h. also jede Empfindung vom Tone einer Grundfarbe ist ternär zusammengesetzt. Ihre Qualität läßt sich daher ausdrücken durch ein dreigliedriges numerisches Verhältniß, welches dem Verhältnisse der Deutlichkeit der drei gemischten einfachen Empfindungen entspricht. So bedeutet die Gleichung

$$\text{Blau} : \text{Weiß} : \text{Schwarz} = 1 : 1 : 1$$

eine Empfindung, welche aus zwei Theilen mittlem Grau (1 Schwarz + 1 Weiß) und einem Theile Blau, oder aus gleichen Theilen Weiß, Schwarz und Blau gemischt ist, an alle drei gleich stark erinnert, mit allen dreien gleich sehr verwandt ist.

Die Reinheit einer Grundfarbe ergibt sich schon aus dem Verhältnisse, in welchem das der Farbe entsprechende Glied des dreigliedrigen Verhältnisses zur Summe der beiden anderen Glieder steht. Dies Verhältniß wäre für die oben erwähnte Farbe Blau : (Weiß + Schwarz) = 1 : 2. Da es überhaupt nur auf Verhältnisse ankommt, und man deshalb die Gesammtempfindung immer = 1 setzen kann, so läßt sich die Reinheit der Farbe, in unserem Falle ihre Bläue, ausdrücken durch das

Verhältniß, in welchem das blaue Glied zur Summe aller drei Glieder steht, also durch $^1/_3 = 0{,}33$.

Wenn man will, kann man die so bestimmte Reinheit der Farbe auch ihre Intensität nennen. Es ist dies eben ein Ausdruck, der für die Empfindung nur Sinn hat in Beziehung auf die neben der Farbe empfundene schwarzweiße Beimischung.

Die Helligkeit einer farbigen Empfindung vom Tone einer Grundfarbe findet man, wenn man das der Grundfarbe entsprechende Glied hälftet und die eine Hälfte zum schwarzen, die andere zum weißen Gliede des Verhältnisses addirt; das Verhältniß des so vermehrten Weiß zum vermehrten Schwarz weist der ganzen Empfindung diejenige Helligkeit zu, welche die entsprechende schwarzweiße Empfindung haben würde. Wir erhalten also in unserem Falle

$$(W + {}^1/_2\,\text{Blau}) : (S + {}^1/_2\,\text{Blau}) = 1{,}5 : 1{,}5$$

das ist dasselbe Verhältniß zwischen Weiß und Schwarz, wie es im mittlen Grau besteht, dessen Helligkeit $= 0{,}5$ ist.

Die Helligkeit eines absolut reinen Blau würde hienach auch $= 0{,}5$ sein, seine Reinheit aber nach dem oben Gesagten $= 1$.

Enthält die farbige Empfindung nicht blos eine Grundfarbe, sondern ein Gemisch zweier Grundfarben, und ist sie demnach quaternär zusammengesetzt, so wird sie durch ein viergliedriges Verhältniß bezeichnet, wie z. B.

$$\text{Roth} : \text{Blau} : \text{Weiß} : \text{Schwarz} = 4 : 4 : 1 : 3,$$

dies ist also eine dunkle Nuance des Violett. Addirt man hier die beiden farbigen Glieder, so bekommt man Rothblau $= 8$, und kann nun mit diesen 8 Rothblau ganz ebenso verfahren, als wäre dies Rothblau eine Grundfarbe. Die Reinheit der Farbe ergibt sich dann aus dem Verhältniß

$$(\text{Roth} + \text{Blau}) : (\text{Schwarz} + \text{Weiß}) = 8 : 4$$

und ist $= \frac{8}{8+4} = 0{,}666\ldots$

Die Helligkeit aber ergibt sich aus dem Verhältniß

$$\left(\text{Weiß} + \frac{\text{Rothblau}}{2}\right) : \left(\text{Schwarz} + \frac{\text{Rothblau}}{2}\right) = 5 : 7$$

und ist $= \frac{5}{5+7} = 0{,}41666\ldots$

Auch die Schwerpunktconstruction, welche im Übrigen viel Verwirrung in der Farbenlehre verschuldet hat, läßt sich anwenden, um diese Verhältnisse anschaulich zu machen. Man denke sich die drei Ecken des oben beschriebenen Nuancirungsdreieckes der gegebenen Grund- oder Mischfarbe belastet mit den drei Gliedern des Verhältnisses

Farbe: Weiß : Schwarz,

und construire den Schwerpunkt des im Übrigen schwerlosen Dreieckes; die Lage dieses Punktes im Dreieck gestattet nach §. 39 die Reinheit, nach §. 40 die Helligkeit der gegebenen Farbennuance zu finden.

§. 42.

Hauptsätze einer neuen Theorie des Farbensinnes.

Wir sind durch eine meiner Ansicht nach ganz vorurtheilsfreie Analyse der Gesichtsempfindungen zur Annahme von sechs einfachen oder Grundempfindungen gelangt, von welchen zwei, nämlich Weiß und Schwarz, bereits früher erörtert wurden. Es gilt jetzt, die dort entwickelte Theorie der schwarzweißen oder farblosen Gesichtsempfindungen durch eine Theorie der farbigen zu ergänzen. Ich theile hier sofort die Hauptsätze derselben mit.

Die sechs Grundempfindungen der Sehsubstanz ordnen sich zu drei Paaren: Schwarz und Weiß, Blau und Gelb, Grün und Roth.

Jedem dieser drei Paare entspricht ein Dissimilirungs- und Assimilirungsproceß besonderer Qualität, so daß also die Sehsubstanz in dreifach verschiedener Weise der chemischen Veränderung oder des Stoffwechsels fähig ist.

Die Richtigkeit dieser Vordersätze vorausgesetzt, eröffnen sich nunmehr zwei Möglichkeiten. Entweder die drei Arten des Stoffwechsels stehen zu einander in gegenseitiger Abhängigkeit, oder jede derselben verläuft unabhängig von der anderen. Die letztere Möglichkeit ist nicht nur die einfachere, sondern stimmt auch, so weit ich bis jetzt sehe, mit den Thatsachen. Deshalb kann ich auch die Sehsubstanz gleichsam als ein Gemisch dreier chemisch verschiedener Substanzen ansehen, deren jede (wenigstens innerhalb der hier in Betracht kommenden Grenzen) unab-

hängig von den beiden andern zu dissimiliren und zu assimiliren vermag. Diese Auffassung vereinfacht die Darstellung wesentlich, und nur deshalb ziehe ich sie der andern und im Grunde vielleicht richtigeren Auffassung vor, nach welcher die Sehsubstanz eine ganz homogene Substanz darstellt, die jedoch dreier verschiedener Arten der Dissimilirung und Assimilirung fähig ist.

Unter diesem Vorbehalte kann ich drei verschiedene Bestandtheile der Sehsubstanz unterscheiden, welche ich als die schwarzweiß empfindende, die blaugelb empfindende und die rothgrün empfindende Substanz bezeichnen will.

So gut man aber im übertragenen Sinne von rothen, gelben etc. Strahlen spricht, kann man auch die drei Substanzen kurzweg als die schwarzweiße, blaugelbe und rothgrüne unterscheiden und erstere als die farblose den beiden anderen als den farbigen entgegensetzen.

Für die schwarzweiße Sehsubstanz, welche also jetzt an die Stelle der in der fünften Mittheilung als Sehsubstanz überhaupt bezeichneten Substanz tritt, habe ich angenommen, daß ihre Dissimilirung dem Weiß, ihre Assimilirung dem Schwarz entspricht; für die blaugelbe und rothgrüne Substanz lasse ich vorerst ausdrücklich dahin gestellt sein, welche Farbe die *D*-Farbe und welche die *A*-Farbe ist. — Die drei Substanzen setzen nicht zu gleichen Theilen die Sehsubstanz zusammen, vielmehr ist die schwarzweiße Substanz viel reichlicher im Sehorgan enthalten als die beiden anderen, und auch diese beiden sind unter sich nicht gleich.

Wie in der schwarzweißen Substanz fortwährend gleichzeitig Dissimilirung und Assimilirung stattfindet, so auch in den beiden anderen Substanzen. Aber entsprechend der verschiedenen Quantität der drei Substanzen ist im Allgemeinen auch die Dissimilirung und Assimilirung der schwarzweißen Substanz viel bedeutender als die der beiden farbigen Substanzen, und daher auch das Gewicht der immer gleichzeitig vorhandenen sechs Grundempfindungen ein sehr verschiedenes: relativ groß das der schwarzen und weißen, sehr klein das der vier farbigen Grundempfindungen.

Daher treten die farbigen Empfindungen nur unter besonders günstigen Umständen über die Schwelle, im Übrigen werden sie von der gleichzeitigen schwarzweißen Empfindung übertönt.

Alle Strahlen des sichtbaren Spectrums wirken dissimilirend auf die schwarzweiße Substanz, aber die verschiedenen Strahlen in verschiedenem Grade. Auf die blaugelbe oder die grünrothe Substanz dagegen wirken nur gewisse Strahlen dissimilirend, gewisse andere assimilirend und gewisse Strahlen gar nicht. Jede der drei Substanzen sieht also sozusagen ihr besonderes Spectrum; im wirklichen Spectrum liegen diese drei Partialspectren gleichsam über- oder ineinander. Das Spectrum der schwarzweißen Substanz ist am weißesten oder hellsten im „Gelb", und nimmt nach beiden Seiten an Helligkeit ab. Das Spectrum der blaugelben Substanz zerfällt in zwei Theile, einen gelben und einen blauen; beide Theile sind geschieden durch eine Stelle, welche für die blaugelbe Substanz lichtlos ist, das ist die Stelle des reinen „Grün". Das Spectrum der grünrothen Sustanz zerfällt in drei Theile, einen mittleren grünen und zwei rothe Endtheile. Dem entsprechend enthält es zwei Stellen, welche für die grünrothe Substanz lichtlos sind, d. i. die Stelle des reinen „Gelb" und des reinen „Blau". Das Totalspectrum der Sehsubstanz hat also drei physiologisch ausgezeichnete Punkte, das sind diejenigen, wo außer dem Weiß nur eine Grundfarbe sichtbar ist, nämlich das reine Gelb, Grün und Blau. Das eigentliche Roth ist im Spectrum äußerst schmal, denn das Spectralroth enthält viel Gelb.

Der erste Theil des Spectrums vom Roth bis zum reinen Gelb ist also (wenn wir vom Schwarz und den unter der Schwelle befindlichen Gegenfarben der sichtbaren Farben absehen) gemischt aus Weiß, Roth und Gelb; der zweite Theil vom reinen Gelb bis zum Grün ist gemischt aus Weiß, Gelb und Grün, der dritte Theil von Grün bis Blau aus Weiß, Grün und Blau, der vierte endlich aus Weiß, Blau und Roth. Im reinen Gelb, Grün und Blau erscheint außer der entsprechenden Grundfarbe nur noch Weiß.

Gemischtes Licht erscheint farblos, wenn es sowohl für die blaugelbe als für die rothgrüne Substanz ein gleichstarkes Dissimilirungs- wie Assimi-

lirungsmoment setzt, weil dann beide Momente sich gegenseitig aufheben, und die Wirkung auf die schwarzweiße Substanz rein hervortritt.

Zwei objective Lichtarten, welche zusammen Weiß geben, sind also nicht als „complementäre", sondern als antagonistische Lichtarten zu bezeichnen, denn sie ergänzen sich nicht zu Weiß, sondern lassen dieses nur rein hervortreten, weil sie als Antagonisten sich gegenseitig ihre Wirkung unmöglich machen.

Da die Größe der Dissimilirung oder Assimilirung, welche durch einen Lichtreiz in einer der drei Substanzen bedingt wird, ebensowohl von der Intensität des Reizes als von der Erregbarkeit abhängt, so haben wir entsprechend den drei Substanzen oder Qualitäten des Stoffwechsels in der Sehsubstanz auch drei verschiedene Arten der *D*-Erregbarkeit sowie der *A*-Erregbarkeit, also im Ganzen sechs verschiedene Arten der Erregbarkeit zu unterscheiden, die wir kurzweg als die schwarze, weiße, grüne, rothe, blaue und gelbe Erregbarkeit unterscheiden können.

Jede dieser sechs Erregbarkeiten ist eine variable Größe und insbesondere ist eine *D*-Erregbarkeit keineswegs immer gleich groß wie die entsprechende *A*-Erregbarkeit, vielmehr kann das Verhältniß beider ein sehr verschiedenes sein.

Daher kann auch ein und dasselbe objective Lichtgemisch nicht nur bald heller und bald dunkler, sondern auch bald irgendwie farbig und bald farblos erscheinen, je nach den Verhältnissen der eben vorhandenen sechs Erregbarkeiten, welche das bedingen, was ich die Stimmung des Sehorganes nennen will.

§. 43.

Vom Gewichte der Farbenempfindungen.

Wenn, wie oben angegeben wurde, die farbigen Sehsubstanzen von der farblosen an Masse übertroffen werden, so folgt, daß auch die Größe ihrer Assimilirung und Dissimilirung und entsprechend das Gewicht der zugehörigen Empfindungen im Allgemeinen kleiner sein wird als die Größe der farblosen Assimilirung und Dissimilirung, beziehentlich das Gewicht der ent-

sprechenden schwarzweißen Empfindung. Nehmen wir an, das Sehorgan sei lange verdunkelt gewesen, und es habe sich ein Zustand desselben hergestellt, bei welchem die Dissimilirung nicht blos in der farblosen Substanz (vgl. §. 31), sondern auch in jeder farbigen eben so groß wie die Assimilirung, und also das Sehorgan gleichsam in neutraler Stimmung ist, so werden jetzt in der Gesammtempfindung des Sehorganes je zwei Gegenfarben gleich stark enthalten sein, aber das Weiß und Schwarz stärker als die vier Grundfarben.

Die Empfindung, welche diesem Zustande des Sehorgans entspricht, habe ich als das mittle Grau bezeichnet und dasselbe zunächst als eine nur binär, nämlich aus Schwarz und Weiß gemischte Empfindung angesehen. Aber genau genommen ist dies nicht richtig; denn es sind in dieser Mischempfindung auch die vier Grundfarben enthalten, jedoch so schwach, daß sie nicht über die Schwelle, d. h. nicht deutlich erkennbar hervortreten, und nur die Verwandtschaft dieses Grau mit dem Schwarz und Weiß offenbar ist (vgl. §. 39).

Daß wir nun Roth und Grün oder Gelb und Blau nie gleichzeitig in einer Mischfarbe enthalten sehen, wie etwa im Violett das Roth und Blau, hat seinen Grund darin, daß durch sogenanntes farbiges Licht immer nur einer von zwei Gegenfarben zu einem relativ starken Gewichte verholfen werden kann. Denn wenn wir zu einem eben wirkenden farbigen Lichte. anderes Licht in mäßiger Menge beimischen, welches für sich allein die Gegenfarbe erwirken würde, so schwächen wir damit wegen der antagonistischen Wirkungen beider Lichtarten zunächst die Wirkung des ersten Lichtes, mindern also das Gewicht der ersten Farbe ohne die Gegenfarbe zu verstärken und erreichen somit das Gegentheil von dem, was wir beabsichtigten. Enthielte das gemischte Sonnenlicht auch Strahlen, welche assimilirend auf die schwarzweiße Substanz wirkten, könnten diese Strahlen bis zur Netzhaut gelangen und wäre ihre assimilirende Wirkung eben so stark wie die dissimilirende der wirklichen Sonnenstrahlen, so würden wir solches Sonnenlicht auch nicht mittelst der schwarzweißen Substanz und also gar nicht sehen; wie wir ja auch das im passenden Verhältnisse gemischte blaue und gelbe Licht mittelst der blaugelben Sehsubstanz nicht sehen.

Lassen wir das Licht von einem der drei ausgezeichneten Punkte des Spectrums, also z. B. das rein grün erscheinende Licht auf das neutral gestimmte Sehorgan wirken, so verstärkt es die schon vorhandene schwache grüne Empfindung, zugleich aber auch die weiße. Mit dem Hervortreten der grünen Empfindung ist also zugleich eine Verstärkung der weißen gegeben und es entsteht eine Mischempfindung, in welcher außer dem Grün auch das Weiß gewichtig und nebstdem auch noch das Schwarz als die Assimilirungsfarbe der schwarzweißen Substanz mehr oder minder deutlich erkennbar ist (vgl. §. 39), während die rothe, gelbe und blaue Empfindung unter der Schwelle bleiben. So kommt es, daß selbst die Spectralfarben durchaus nicht rein, sondern immer sehr merklich mit einer schwarzweißen Empfindung versetzt sind. Denn was von den grünen Strahlen gesagt wurde, läßt sich auf jeden andern Theil des Spectrums übertragen, gleichviel ob seine Strahlen nur eine oder beide farbige Sehsubstanzen erregen.

Noch unreiner erscheinen die Pigmentfarben, weil sie gemischtes Licht zurückwerfen, in welchem nur gewisse Lichtarten mehr oder minder geschwächt sind. Zu der farbigen Wirkung derjenigen Strahlen, welche hiebei nicht durch antagonistische Strahlen neutralisirt sind, kommt also nicht nur die Wirkung eben jener Strahlen auf die schwarzweiße Substanz, sondern auch noch die Wirkung des ganzen übrigen neutralgemischten und daher nur die schwarzweiße Substanz erregenden Lichtes.

Gemischtes Licht, welches uns einen schönen farbigen Eindruck macht, wird gleichwohl durch einen Zusatz von farblosem Lichte leicht fast oder ganz farblos, weil die farbige Empfindung schon von vornherein stark mit einer farblosen versetzt ist.

Sehr instructiv ist in dieser Beziehung der folgende leicht herzustellende Versuch. Man lege auf einen Tisch, der vor einem Fenster steht, ein Stück schwarzen Sammtes und darauf ein kleines Stück weißen Papiers. Zwischen letzterem und dem Fenster stelle man eine farbige Glastafel senkrecht auf den Tisch, so daß das Papier deutlich in der Farbe des Glases, z. B. schön blau erscheint. Dann wird dieses Papier theils von dem blauen Lichte beleuchtet, welches durch das Glas gegangen ist, theils von dem farblosen Lichte, welches von den Wänden des Zimmers etc. zurückgeworfen wird. Nimmt man dann einen kleinen Spiegel zur Hand und richtet ihn

so, daß ein Theil des weißen Lichtes vom bewölkten Himmel auf das Papier reflectirt wird, so erscheint dieses plötzlich fast oder ganz weiß. Durch diesen Zusatz farblosen Lichtes wird die weiße, nicht aber zugleich auch die blaue Empfindung verstärkt, und das Verhältniß des Gewichtes der letzteren zum Gewichte der Gesammtempfindung so ungünstig, daß das Blau fast oder ganz unter die Schwelle gedrängt wird.

Selbst die Spectralfarben verbleichen rasch und werden sehr weißlich, wenn man eine Linie des Spectrums fest fixirt. Denn die Erregbarkeit der farbigen Substanzen sinkt, wie in §. 46 weiter erörtert wird, unter dem gleichsam concentrirt wirkenden Reize sehr rasch, während die gleichzeitig erregte schwarzweiße Substanz immer noch eine relativ starke weiße Empfindung bedingt.

Auch die schwarze Empfindung, wie sie in gar nicht oder sehr schwach beleuchteten Theilen des Sehorgans durch Contrast mit dem Weiß der Umgebung erzeugt wird, hat im Vergleich zu schwachen farbigen Empfindungen ein sehr in Betracht kommendes Gewicht. Daher kann man unter passenden Umständen eine schwache Farbenempfindung unter die Schwelle drängen, wenn man an derselben Stelle die schwarze Empfindung durch Contrast verstärkt.

Man nehme z. B. eine mattgeschliffene Glastafel und halte sie, mit der mattgeschliffenen Seite nach oben zunächst horizontal über einen Tisch, der mit schwarzem Sammt belegt ist. Auf diese Glasplatte lege man ein 2—3 Cm. breites Quadrat von sehr dunkelfarbigem und ganz undurchsichtigem Papier, dessen bezeichneten Mittelpunkt man fixirt. Durch eine entsprechende Neigung der Glasplatte wird man die (einseitig vorausgesetzte) Beleuchtung dieses Quadrates so abschwächen können, daß man die Farbe desselben nur eben noch deutlich erkennt. Schiebt man jetzt ein weißes Papier zwischen Glasplatte und Tisch, so erhellt sich die matte Glastafel, das Papierquadrat aber wird viel dunkler oder schwärzer und seine Farbe unsichtbar. Man braucht nun das weiße Papier nur bald wieder zu entfernen, um die Farbe sofort wieder sichtbar zu machen. Durch die Erhellung der Umgebung des farbigen Quadrates wird an der ihm entsprechenden Stelle des Sehorgans die Empfindung des Schwarzen erheblich verstärkt (vergl. §. 32), die ohnehin schwache Farbenempfindung kommt dadurch in ein noch ungünstigeres Verhältniß zur jetzt gewichtiger gewordenen Gesammtempfindung und sinkt demnach unter die Schwelle.

Läßt man das weiße Papier zu lange zwischen Glas und Tisch oder macht man den Versuch mehrmals rasch hinter einander, so mischt sich successiv inducirtes Licht an der Stelle des Papierquadrates störend ein.

Im Allgemeinen sind also die Bedingungen für das deutliche Hervortreten der Farben beim gewöhnlichen Sehen sehr ungünstig,

denn immer wird an den hellen wie an den dunklen Stellen die Farbenempfindung durch die schwarzweißen Empfindungen stark verunreinigt und oft ganz unter die Schwelle gedrückt. Gegenfarben können an einer und derselben Stelle gar nicht gleichzeitig über die Schwelle treten, sondern entweder nur eine Grundfarbe oder ein Gemisch zweier, welche nicht Gegenfarben sind.

Günstiger gestalten sich schon die Verhältnisse im verdunkelten Auge, weil hier die schwarzweißen Empfindungen kein so großes Gewicht haben als im offenen. Ist daher eine farbige Sehsubstanz in Folge innerer Ursachen oder durch vorhergegangene Reizung mittelst äußeren Lichtes erheblich aus der neutralen Stimmung herausgebracht worden, so kann die dadurch begünstigte Farbe leichter über die Schwelle treten. Die Nachbilder im verdunkelten Auge zeigen daher häufig deutliche Farben.

Am günstigsten sind die Umstände, wenn die schwarzweiße Substanz zuvor intensiv erregt wurde und nun nicht nur ihre *D*-Erregbarkeit, sondern auch durch indirecte Wirkung die *A*-Erregbarkeit herabgesetzt und die spontane Dissimilirung und Assimilirung sehr schwach geworden ist. Die dann im verdunkelten Auge erscheinenden Blendungsbilder zeigen bisweilen so gesättigte schöne Farben, wie kaum das Sonnenspectrum. Da nämlich in dem zuvor gesehenen sehr hellen Lichte, wenn es auch wegen des starken Übergewichtes der farblosen Empfindung weiß erschien, doch die antagonistischen Strahlen sich fast nie vollständig neutralisiren, so wurde auch die farbige Sehsubstanz dadurch mehr oder weniger, wenn auch verhältnißmäßig schwach erregt, und im nachher verdunkelten Auge verräth sich die nicht neutrale Stimmung der farbigen Substanzen durch Farbenempfindungen, die, obwohl an sich von kleinem Gewichte, doch im Vergleich zu der jetzt sehr schwachen schwarzweißen Empfindung erheblich sind und daher deutlich hervortreten können.

Bei solchen Beobachtungen ist es mir übrigens öfters vorgekommen, als ob man bei gewissen Phasen des Blendungsbildes wirklich zwei Gegenfarben zugleich sähe, und ich finde auch bei andern Beobachtern dahin zu deutende Bemerkungen. Indessen traut man bei einer so ungewöhnlichen

Erscheinung seinen eigenen Augen nicht, und es besteht auch die Möglichkeit, daß hiebei beide Farben in einem und demselben Bezirke des Sehfeldes zwar sichtbar sind, aber doch nicht eigentlich in einander, sondern neben einander, so daß beide in kleinen Raumintervallen miteinander abwechseln.

Immer ist festzuhalten, daß jede Gesichtsempfindung, sie sehe aus wie sie wolle, ein Gemisch der sechs Grundempfindungen ist. Diejenige Grundempfindung, welche das relativ stärkste Gewicht hat, gibt der Gesammtempfindung hauptsächlich Charakter und Namen. Ist eine Grundempfindung so stark im Übergewichte über alle anderen, daß letztere gar nicht bemerkbar hervortreten, so nähert sie sich dem Ideal der Reinheit, welches aber in Wirklichkeit nie gegeben sein kann.

§. 44.

Von der Umstimmung der durch farbiges Licht gereizten Theile des Sehorgans.

Wenn das Sehorgan längere Zeit vor äußeren Reizen geschützt bleibt, so nimmt es mehr oder minder vollständig jene neutrale Stimmung an, bei welcher in allen drei Substanzen die Assimilirung und Dissimilirung gleich groß, und wie wir ergänzend annehmen wollen, auch jede D-Erregbarkeit ebenso groß ist wie die entsprechende A-Erregbarkeit.

Die hiebei stattfindende Dissimilirung ist, ganz theoretisch genommen, das Product zweier Factoren, nämlich der eben vorhandenen D-Erregbarkeit und der innern D-Reize. Ebenso ist die Assimilirung das Product aus der A-Erregbarkeit und den A-Reizen. Aus der Gleichheit von Dissimilirung und Assimilirung folgt also nicht nothwendig die Gleichheit der D- und A-Erregbarkeit. Indessen will ich, da es gegenüber den äußeren Reizen vielmehr auf die Erregbarkeiten als auf die schon vorhandenen inneren Reize ankommt, für die neutrale Stimmung auch gleichgroße D- und A-Erregbarkeit jeder Substanz annehmen. Ich darf dies um so eher, als wir über die sogenannten inneren Reize eigentlich gar nichts wissen und es vielleicht unrichtig ist, sie mit den äußeren zu parallelisiren. Man kann wenigstens vorläufig die Sache auch so auffassen, als sei es in der Natur der erregbaren Substanz begründet, auch dann, wenn sie keinem äußeren oder inneren Reize unterworfen ist, immer in schwachem Grade zu dissimiliren und zu assimiliren.

Die Größe dieser spontanen Dissimilirung und Assimilirung wäre dann zugleich ein Maaß für die Disposition der erregbaren Substanz zu der unter dem Einflusse äußerer Reize stattfindenden Dissimilirung oder Assimilirung, d. h. ein Maaß der D- und A-Erregbarkeit.

Damit das zunächst in neutraler Stimmung gedachte Sehorgan ein gemischtes Licht als farblos empfinde, ist nöthig, daß dieses Licht sowohl für die rothgrüne als für die blaugelbe Substanz ein annähernd gleich großes Assimilirungs- wie Dissimilirungsmoment setze, wobei ich das Moment dem Product aus Reiz und Erregbarkeit gleichsetze.

Solches gemischtes Licht nun, welches dem neutral gestimmten Sehorgane farblos erscheint, will ich objectiv farblos oder kurz farbloses Licht nennen.

Eben dasselbe Licht aber wird z. B. grünlich erscheinen können, wenn die rothgrüne Substanz nicht mehr neutral gestimmt, sondern ihre grüne Erregbarkeit größer ist als die rothe. Denn in Folge dessen würden Assimilirungs- und Dissimilirungsmoment nicht mehr gleich groß sein, und ein kleines Moment, welches gleich der Differenz beider Momente ist, wird nun zu Gunsten des Grün zur Wirkung kommen.

Wenn irgend ein Theil des zuvor neutral gestimmten Sehorgans durch farbig erscheinendes Licht nicht übermäßig gereizt wird, so wird die Stimmung dieses Theiles immer derart geändert, daß die Erregbarkeit für die eben empfundene Farbe abnimmt und nach Schluß der Reizung kleiner ist, als die Erregbarkeit für die Gegenfarbe. Jedes gemischte Licht, welches vorher farblos empfunden worden wäre, wird jetzt mit einer Beimischung dieser Gegenfarbe, oder, wenn zuvor ein Gemisch zweier Grundfarben gesehen wurde, mit einer Beimischung beider Gegenfarben gesehen. Hiebei aber ist keineswegs nöthig, daß diese beiden subjectiven Gegenfarben jetzt in demselben Verhältnisse gemischt erscheinen, wie in der zuvor gesehenen Mischfarbe die beiden objectiven Farben. Denn jenes Verhältniß der subjectiven Gegenfarben hängt ganz von den eingetretenen Erregbarkeitsänderungen der beiden farbigen Substanzen ab, welche nur zufällig genau in einem solchen Verhältnisse stattfinden könnten, daß die subjectiven Gegenfarben wieder dasselbe Mischungsverhältniß hätten.

Schon aus diesem Grunde ist die Farbe, welche das objective Weiß und Grau im successiven Contraste zu einer zuvor gesehenen Farbe annimmt, nicht immer genau das, was man die Complementärfarbe der letzteren zu nennen pflegt. Größere Abweichungen treten nothwendig dann

ein, wenn die farbigen Sehsubstanzen des ganzen Sehorgans unter dem Einflusse der herrschenden Beleuchtung eine so zu sagen künstliche Stimmung angenommen haben, wie dies sowohl bei natürlicher als künstlicher Beleuchtung immer mehr oder minder der Fall ist. (Siehe §. 46 über die Adaptation.)

Ist durch mäßige Einwirkung z. B. grünen Lichtes auf einen Theil des Sehorgans die Stimmung dieses Theils verändert worden, und blickt man nun auf eine blaue oder gelbe Fläche, so mischt sich an der umgestimmten Stelle die Gegenfarbe des Grün subjectiv bei, und das Gelb oder Blau erscheint röthlich. Denn das von einem Pigmente zerstreute Licht ist gemischtes Licht, und diesem gegenüber verhält sich der umgestimmte Theil des Sehorgans analog wie gegenüber farblosem gemischtem Lichte.

Zur Erklärung der Thatsache, daß nach farbiger Reizung der gereizte Theil für die Gegenfarbe erregbarer ist, als für die Reizfarbe, bietet meine Theorie mehrere Wege. Obwohl ich nun auch hier der zukünftigen eingehenden Untersuchung keineswegs vorgreifen will, so erscheint es mir doch zweckmäßig, in ähnlicher Weise, wie ich dies in der vorigen Mittheilung gethan habe, zu zeigen, wie sich die Erscheinungen des successiven Contrastes leicht der Erklärung aus meiner Theorie unterwerfen lassen. Denn ich bekomme dadurch Gelegenheit zu zeigen, einen wie tiefen Einblick in alle Phasen des Stoffwechsels der Sehsubstanz wir erwarten dürfen, wenn wir aus den Gesichtspunkten, welche die Theorie bietet, an die feinere Untersuchung der Einzelerscheinung gehen.

Wird die zuvor neutral gestimmte rothgrüne Substanz durch solche Strahlen gereizt, welche ihre Dissimilirung steigern, so wird während der Dauer der entsprechenden Empfindung die rothgrüne Substanz abnehmen, und folglich nach Schluß der Reizung die Erregbarkeit des gereizten Theiles für diese Farbe vermindert sein. Hierüber kann kein Zweifel sein, wenn die Vordersätze der Theorie richtig sind, und dies würde schon genügen, um die Art oder Richtung der Umstimmung des gereizten Theiles zu erklären, wenn wir nur annehmen, daß die *A*-Erregbarkeit während der Reizung unverändert bleibe. Wenn sich aber auch die *A*-Erregbarkeit unter dem indirecten Einflusse des Reizes ändert, so bleiben zwei Möglichkeiten; erstens die, daß sie ebenfalls abgenommen hat, aber viel weniger als die *D*-Erregbarkeit, oder aber zweitens, daß sie sogar zugenommen hat. Dies lasse ich hier dahingestellt sein, weil es nur untersucht werden kann, wenn zugleich die Stärke und räumliche Ausbreitung des Reizes und der Zustand der Umgebung der gereizten Stelle mit berücksichtigt wird.

Wird umgekehrt die zuvor neutral gestimmte rothgrüne Substanz durch farbiges Licht gereizt, welches ihre Assimilirung steigert, so wird dadurch die erregbare Substanz vermehrt und zugleich die *D*-Erregbarkeit gesteigert. Dies reicht hin, um zu erklären, warum nach Schluß der Reizung die *D*-Erregbarkeit, also die Erregbarkeit für die Gegenfarbe größer ist als die *A*-Erregbarkeit. Hätte sich zugleich in Folge des rascheren

Verbrauchs von Assimilirungsmaterial die A-Erregbarkeit etwas vermindert, so würde dies eine noch größere Differenz der beiden Erregbarkeiten nach Schluß der Reizung bedingen.

§. 45.

Von der Umstimmung des ganzen Sehorgans bei theilweiser Reizung durch farbiges Licht.

In meinen früheren Mittheilungen habe ich den Beweis geführt, daß bei partieller Reizung des Sehorgans nicht blos im gereizten Theile und unter der directen Wirkung des Reizes, sondern auch im übrigen Sehorgane und insbesondere in der nächsten Umgebung der direct gereizten Stelle Veränderungen unter der indirecten Wirkung des Reizes eintreten, durch welche die Erscheinungen des simultanen Contrastes, sowie der simultanen und successiven Lichtinduction bedingt sind. Während ich aber bisher die Contrast- und Inductionserscheinungen nur in Bezug auf die schwarzweiße Sehsubstanz erörtert habe, gilt es nun auch, die beiden andern Sehsubstanzen zu berücksichtigen, den simultanen Farbencontrast und die Farbeninduction zu erklären.

Wir sahen früher, daß bei nicht übermäßiger Beleuchtung einer Stelle des Sehorgans das übrige Sehorgan und besonders die nächste Nachbarschaft der gereizten Stelle sich in Folge indirecter Wirkung des Reizes mehr oder minder verdunkelt. Wie hiebei in der Umgebung der durch farbloses Licht gereizten Stelle das Schwarz deutlicher hervortritt, so wird bei Reizung durch farbiges Licht in der Umgebung des gereizten Theiles die Empfindung der Gegenfarbe verstärkt und unter günstigen Umständen auch über die Schwelle gehoben.

Infolge dessen ändern sich dann auch die Erregbarkeitsverhältnisse der Umgebung der gereizten Stelle, denn die Empfindung einer beliebigen Grundfarbe bedeutet nach unserer Theorie auch eine Aenderung des Verhältnisses der Erregbarkeiten zu Ungunsten der empfundenen Farbe und zu Gunsten ihrer Gegenfarbe. Nach Schluß der Reizung und der beschriebenen Contrastwirkung wird also an der direct gereizten Stelle die Erregbarkeit für die Reizfarbe kleiner sein als die Erregbarkeit für ihre Gegenfarbe, in der Umgebung der direct gereizten Stelle aber wird das Gegentheil der Fall sein.

Lassen wir jetzt auf die ganze Netzhaut Licht fallen, welches bei neutraler Stimmung des Sehorganes farblos erscheinen würde, so erscheint es nun farbig, und zwar an der zuvor gereizten Stelle in der Gegenfarbe (successiver Contrast), während es im Uebrigen und besonders in der nächsten Umgebung in die zuvor während der Reizung empfundene Farbe spielt (successive Induction). Was hier von einer Grundfarbe gilt, das gilt auch von den Gemischen zweier.

Auf Grund des hier Gesagten lassen sich nun alle Erscheinungen des simultanen und successiven Farben-Contrastes erklären.

Ist die unter dem directen Einflusse des Reizes empfundene Farbe eine *D*-Farbe, so läßt sich das Hervortreten der Gegenfarbe in der Umgebung auf ganz analoge Weise für die farbigen Substanzen erklären, wie dies früher für die farblose Sehsubstanz geschehen ist, insbesondere also daraus, daß die Steigerung der Dissimilirung an der gereizten Stelle eine Steigerung der Assimilirung in der Umgebung bedingt. Die in schwachem Maaße immer vorhandene Empfindung der zugehörigen *A*-Farbe gewinnt dadurch an Gewicht und tritt unter günstigen Umständen über die Schwelle.

Meine Theorie gestattet aber auch eine andere Erklärung, die jedoch zweckmäßig erst bei Gelegenheit der ausführlichen Untersuchung der Contrasterscheinungen erwogen wird. Es könnte nämlich die Erscheinung der Contrastfarbe auch auf eine Minderung der Dissimilirung, oder auf gleichzeitige Steigerung der Assimilirung und Herabsetzung der Dissimilirung zurückgeführt werden (vergl. §. 32).

Jedenfalls aber würde, und das ist mir hier die Hauptsache, die entsprechende farbige Sehsubstanz und also auch die *D*-Erregbarkeit in der Umgebung des direct gereizten Theiles zunehmen und hier die *D*-Erregbarkeit nach Schluß der Reizung größer sein müssen als die *A*-Erregbarkeit.

Ist umgekehrt die Farbe, welche die Contrastwirkung hervorbringt, eine *A*-Farbe, so tritt ein Fall ein, welcher bei den farblosen Empfindungen insofern nicht möglich ist, als für die schwarzweiße Substanz das Licht nur einen *D*-Reiz bildet. Am einfachsten erscheint die Annahme, daß in der Umgebung der farbig gereizten Stelle die Dissimilirung derselben farbigen Substanz etwas gesteigert wird, deren Assimilirung unter der directen Einwirkung des Lichtreizes gesteigert ist, und daß dadurch die entsprechende *D*-Farbe sichtbar wird. Aber auch durch eine Minderung oder Hemmung der Assimilirung in der Nachbarschaft der gereizten Stelle ließe sich das Auftreten der Gegenfarbe allenfalls erklären. Im einen wie im andern Falle würde durch die Contrastwirkung in der Umgebung der farbig gereizten Stelle die betroffene Substanz und damit zugleich ihre *D*-Erregbarkeit gemindert werden und nach Schluß der Reizung die Erregbarkeit für die *A*-Farbe größer sein als für die *D*-Farbe.

Der Nachweis, daß der simultane Farben-Contrast und die Farben-Induction wirklich auf einer Wechselwirkung der einzelnen Theile des Sehorganes beruhen, läßt sich in ganz ähnlicher Weise führen, wie dies in Betreff der farblosen Lichtempfindungen in meinen früheren Mittheilungen geschehen ist. Alle dort angeführten Versuche lassen sich gleichsam in's Farbige übersetzen. Nur muß man dabei Sorge tragen, daß man den Contrast und die Induction zwischen hell und dunkel möglichst ausschließt, weil sonst schwache Farbenempfindungen durch die farblosen unter die Schwelle gedrückt werden. Objective Gegenfarben, mit denen man gleichzeitig arbeitet, müssen ungefähr gleich hell sein, und ebenso müssen farblose Felder oder farbloser Grund etwa von derselben Helligkeit sein, wie die Farben, nämlich grau, nicht weiß oder schwarz. Zu Versuchen über simultanen Contrast eignen sich die möglichst reinen Farben weniger als stark nuancirte, weil bei Anwendung der ersteren der simultane Contrast oft sehr rasch in die simultane Induction umschlägt oder die Zerstreuung des farbigen Lichtes über das eigentlich farbige Bild hinaus so stark ist, dass die subjective Contrastfarbe gar nicht dagegen aufkommen kann. Günstig sind demzufolge für die Erscheinung der Contrastfarben auch jene Versuchsbedingungen, welche man zur Erzeugung der subjectiv farbigen Schatten herzustellen pflegt.

§. 46.

Über die große Vergänglichkeit der farbigen Empfindungen im Vergleich zu den farblosen.

Aus dem, was im §. 43 über das Gewicht der Farbenempfindungen und in den beiden letzten §§. über die Erregbarkeitsänderung der farbigen Sehsubstanzen gesagt wurde, erklärt sich, daß die Farbenempfindungen so sehr vergänglich sind, genauer gesagt, daß sie so leicht unter die Schwelle kommen. Ein kleines farbiges Quadrat auf ungefähr gleich hellem farblosen Grunde verliert bei fester Fixirung eines Punktes sehr bald an Reinheit der Farbe und verschwimmt endlich unterschiedslos mit dem Grunde, wobei dieser gewöhnlich unterdessen (durch simultane Induction) etwas von der Farbe des Quadrats angenommen hat, und somit Quadrat und Grund in gleichem Tone schwach gefärbt

erscheinen. Am schnellsten tritt dieses Verschwinden kleiner farbiger Felder beim indirecten Sehen ein, später beim directen. Uebrigens aber blitzen die Ränder des farbigen Feldes und des Grundes in Folge kleiner Blickschwankungen immer wieder in der Farbe des Quadrates, beziehentlich in der Gegenfarbe auf.

Sehr belehrend sind in dieser Beziehung folgende Versuche: Man lege ein kleines farbiges Feld auf einen etwa gleich hellen grauen Grund und fixire fest einen Punkt des ersteren. Von Zeit zu Zeit beschatte man vorübergehend das farbige Feld in mäßigem Grade dadurch, daß man zwischen dasselbe und die Hauptlichtquelle des Zimmers einen undurchsichtigen Schirm oder auch nur die Hand schiebt. Man wird dann schon nach kurzer Fixirung im Momente der Beschattung die Farbe des farbigen Feldes auffallend unrein werden und auch oft den Farbenton ändern sehen. Jetzt entferne man den Schirm wieder, fixire aber fort. Bei nochmaliger Beschattung kann das farbige Feld unsichtbar werden, weil es unterschiedslos mit dem Grunde zusammenfliest; bei der dritten Beschattung kann es farblos erscheinen, bei der vierten schon in einer ganz anderen Färbung, in welcher immer die Gegenfarbe der ursprünglichen Farbe deutlich oder ausschließlich enthalten ist. Verschließt man das Auge nur eine Weile und blickt dann auf das noch beschattete Feld, so erscheint es wieder in seiner ursprünglichen Farbe.

Man kann auf diese Weise die Folgen der fortschreitenden Erregbarkeitsänderungen an der Stelle des farbigen Feldes sowohl als in seiner Umgebung auf jeder beliebigen Stufe ihrer Entwicklung sichtbar machen.

Zu genauerer Untersuchung bedient man sich zweckmäßig eines Zimmers, welches nur eine, leicht zu verändernde Lichtquelle hat. Im Fensterladen eines dunklen Zimmers läßt man z. B. die von Aubert[1]) angegebenen quadratischen Diaphragmen einsetzen, die durch einen Schieber beliebig verkleinert und vergrössert werden können. Diese höchst zweckmäßigen Diaphragmen gestatten eine sehr genaue und meßbare Regelung der Lichtstärke.

Selbst die Spectralfarben können in ihrer Gegenfarbe gesehen werden. Fixirt man eine Linie im Spectrum des zerstreuten Tageslichtes, so verblassen die Farben zusehends. Verengt man sodann den Spalt hinreichend, so schlägt, während die Spectrallinien noch deutlicher werden, die fixirte Farbe in einen, die Gegenfarbe mehr oder weniger deutlich enthaltenden Ton

[1]) Physiologie der Netzhaut. S. 44.

um. Ein kurzer Verschluß des Auges genügt, um nachher die Farbe wieder zu sehen trotz der Lichtschwäche des Spectrums. Um den Versuch rein zu haben, muß man die übrigen Farben abblenden.

Nicht minder interessant als das Verschwinden der Farbe begränzter farbiger Felder bei fester Fixirung ist das Verschwinden einer in der allgemeinen Beleuchtung überwiegenden Farbe; denn eine schwachfarbige Beleuchtung erscheint meist farblos.

Der Ausdruck weißes oder farbloses Licht hat, wie oben gezeigt wurde, nur Sinn in Beziehung auf die eben vorhandene Stimmung des Sehorgans; denn dasselbe gemischte Licht kann je nach dieser Stimmung bald farbig und bald farblos erscheinen. Ich habe dasjenige Licht farblos genannt, welches bei neutraler Stimmung des Sehorgans farblos erscheint. Diese Stimmung ist jedoch fast nie vorhanden. Gleichwohl erscheint uns das Tageslicht wie das künstliche Licht meist farblos, d. h. wir sehen einen sogenannten weißen Gegenstand bei diesen verschiedenen Beleuchtungen immer wieder weiß.

Angenommen, das zuvor neutral gestimmte Sehorgan eröffnet sich einem Außenraume, dessen Beleuchtung nicht farblos ist, weil in derselben z. B. die gelbwirkenden Strahlen nicht ganz neutralisirt sind, so wird man das fast überall vorhandene Gelb nur im Anfange und auch da nur verhältnißmäßig schwach bemerken. Letzteres deshalb, weil jede objective Farbe, ebenso wie das Weiß, wegen der Wechselwirkung der einzelnen Theile des Sehorgans an Reinheit und Deutlichkeit verliert, wenn sie über einen großen Theil der Netzhaut verbreitet ist (vergl. §. 32); ersteres aber wegen der sehr bald eintretenden Adaptation des Sehorgans für die allgemein verbreitete Farbe. Dieselbe besteht im angeführten Falle darin, daß in der gelbblauen Substanz die Assimilirung durchschnittlich wieder ebenso groß wird wie die Dissimilirung, und daher das Sehorgan in Bezug auf die eben herrschende Beleuchtung so zu sagen wieder neutral gestimmt ist. Für ein solches künstlich neutral gestimmtes Sehorgan ist also die, dem natürlich neutral gestimmten Sehorgan farbig erscheinende Beleuchtung wieder farblos.

Nehmen wir an, die vorherrschende gelbe Farbe, welche das Auge im angenommenen Falle fast allenthalben sieht, sei eine *D*-Farbe, so wird in allen Theilen des Sehorganes die blaugelbe Sehsubstanz und mit ihr die

Erregbarkeit für Gelb abnehmen, daher auch das von den gelbwirkenden Strahlen gesetzte Erregungsmoment immer kleiner und schließlich ebenso groß werden, wie das Erregungsmoment der blauwirkenden Strahlen. Dann aber werden sich beide Momente vollständig aufheben. Ob hiebei auch die blaue Erregbarkeit durch indirecte Wirkung der anfänglichen gelben Erregung sich ändert, ist vorerst gleichgiltig, denn immer müssen schließlich beide Erregungsmomente gleich werden.

Wäre umgekehrt die in der Beleuchtung vorherrschende gelbe Farbe die *A*-Farbe der blaugelben Substanz, so würde unter ihrem Einflusse diese Substanz und damit die *D*-Erregbarkeit, d. h. Erregbarkeit für Blau zunehmen. Die Folge ist wieder, daß das an sich schwächer vorhandene blau wirkende Licht bald ein stärkeres und schließlich ebenso großes Erregungsmoment setzt, wie das gelbwirkende, womit die erregende Wirkung des gemischten Lichtes auf die blaugelbe Substanz zu Ende ist.

Man braucht nur ein Stückchen weißen Papiers auf schwarzen Grund zu legen, einige Zeit zu fixiren und dann durch einen zwischen das Papier und die vorherrschende Lichtquelle geschobenen Schirm zu beschatten, so sieht man auf dem Papier die einfache oder zweifache Gegenfarbe der in der Beleuchtung eben vorherrschenden Farbe. Bei Gaslicht erscheint das Papier blau, bei Tageslicht je nach dem Stande der Sonne, der Bläue oder Bewölkung des Himmels etc. verschieden, grün, grüngelb oder gelb.

Bei allen Versuchen über Farbencontrast oder Farbeninduction muß man die, durch Adaptation für die meist etwas farbige Beleuchtung veränderte Stimmung des Sehorgans mit berücksichtigen, denn die Gegenfarbe der eben in der Beleuchtung vorherrschenden, wenn auch unsichtbar gewordenen Farbe, mischt sich bei jeder günstigen Gelegenheit mit ein und tritt sogleich über die Schwelle, sobald das Gesammtgewicht der eben untersuchten Empfindung hinreichend klein ist, wie dies bei gedämpfter Beleuchtung oder auf dunklem Grunde häufig, ganz besonders aber im verdunkelten Auge der Fall ist.

§. 47.

Über die Young'sche und Plateau'sche Theorie.

Jede Gesichtsempfindung läßt sich, wie ich oben dargelegt habe, ganz bestimmt bezeichnen, wenn man sechs Variable annimmt, d. h. die sechs einfachen oder Grundempfindungen. Die nächstliegende Annahme ist nun die von uns gemachte, daß diesen sechs psychischen Variablen sechs physiologische

Variable entsprechen. Ausgehend von dem in §. 27 erörterten Grundgedanken, daß jedem Psychischen ein Physisches entsprechen müsse, und unter Annahme der schon von Leonardo da Vinci, Aubert u. A. betonten einfachen Farben (Roth, Gelb, Grün, Blau) kam daher schon Mach[1]) zu dem Resultate, daß es nicht drei, sondern vier „Grundfarbenempfindungen" geben und daß außerdem „für die Empfindung Weiß und Schwarz ein besonderer physiologischer Proceß statuirt werden müsse". „Denn im Weiß ist keine andere Farbe erkennbar. Wenn demselben auch in der Netzhaut mehrere Erregungen entsprechen, der letzte Vorgang in der physiologischen Kette, welcher den einfachen physischen Proceß der Empfindung Weiß bedingt, muß einfach gedacht werden wie dieser." Die qualitative und nicht blos quantitative Verschiedenheit des Schwarz und Grau vom Weiß hat Mach nicht besonders betont; auch fußen alle seine Erörterungen noch auf dem psychophysischen Gesetze Fechner's.

Die Young'sche Theorie müsse also, meint Mach, dahin modificirt werden, daß an Stelle von drei jene vier Grundfarben gesetzt werden. Allerdings würde dadurch jene Theorie mit dem natürlichen Farbensystem in viel besseren Einklang gebracht, und insofern war Mach's Annahme ein wesentlicher Fortschritt. Aber der Hauptfehler der Young-Helmholtz'schen Theorie bleibt bestehen. Denn dieser liegt darin, daß diese Theorie nur eine Art der Erregbarkeit, Erregung und Ermüdung kennt, nämlich die von mir mit *D* bezeichnete, und daß sie das antagonistische Verhalten gewisser Lichtstrahlen zum Sehorgan verkennt; daher sie das Weiß aus „complementären" Lichtstrahlen nicht dadurch entstehen läßt, daß sie sich in ihrer Wirkung auf die farbigen Sehsubstanzen aufheben, sondern dadurch, daß sie sich zu Weiß ergänzen.

Ein entschiedener Fortschritt war der Versuch Young's, die große Mannichfaltigkeit der Licht- und Farbenempfindungen auf einige wenige physiologische Variable zurückzuführen. Der richtige Grundgedanke aber erfuhr eine falsche Durchführung, weil man sich dadurch irre leiten ließ, daß es in der That möglich ist, mit Hilfe dreier, passend gewählter Arten homogenen

[1]) Über die Wirkung der räumlichen Vertheilung des Lichtreizes auf die Netzhaut. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. 52. Bd. 1865.

Lichtes alle Farbentöne, wenn auch nicht alle Sättigungsgrade derselben zur Empfindung zu bringen. Da die Strahlen des spectralen Roth nicht auf die rothgrüne, sondern auch wenngleich schwächer auf die blaugelbe Substanz erregend wirken, so braucht man diesen Strahlen nur die nöthige Menge grüner Strahlen beizumischen, um die Wirkung der rothen Strahlen auf die rothgrüne Substanz zu neutralisiren und ein, allerdings sehr weißliches Gelb in der Empfindung übrig zu behalten. Nimmt man dagegen als dritte Grundfarbe das Violett, so thut man insofern etwas Überflüssiges, als man das darin enthaltene Roth nicht mehr nöthig hat, sondern nur das Blau. Das Blau erhält man gleichwohl, wenn man die Wirkung der violetten Strahlen auf die grünrothe Substanz durch Zusatz von Grün neutralisirt.

Sehen wir ab von dem richtigen Grundgedanken, von welchem die Young'sche Hypothese ausgeht, so bleibt nicht viel Gutes mehr von ihr zu berichten. Insbesondere vermag sie jene Thatsachen, welche man als die Hauptstütze der Theorie betrachtet hat, nämlich die „complementären" Nachbilder und die Farbenblindheit gar nicht genügend zu erklären. Eine große Reihe von Erscheinungen aber, die aus der Young'schen Theorie zu erklären bisher gar nicht versucht worden ist, findet in der neuen Theorie leicht ihre Erklärung.

Zur Erklärung der „complementären" Nachbilder nimmt Helmholtz eine unter dem Einflusse vorangegangener farbiger Reizung entstandene ungleiche Erregbarkeitsänderung oder Ermüdung der drei Faserarten an. Diese Erklärung genügt in vielen Fällen, wenn man sich nur an den Farbenton des Nachbildes hält, seine Helligkeit oder Dunkelheit aber, d. h. das Verhältniß des immer gleichzeitig vorhandenen Weiß und Schwarz ganz vernachlässigt. Aber auch der Farbenton der Nachbilder läßt sich häufig auf diese Weise gar nicht erklären.

Ich will dies hier vorläufig nur an einem einzigen Beispiel erläutern. Man lege auf einen farbigen, z. B. grünen Grund zwei große Blätter, welche gleich hell wie der Grund und ungefähr „complementär" zum Grün gefärbt sind, derart daß diese rothen Blätter nur einen centimeterbreiten Streifen vom grünen Grunde zwischen sich lassen. Einen Punkt dieses Streifens fixire man 1—1½ Minuten lang. Entfernt man dann rasch die rothen Blätter, so erscheint der Streifen, der soeben noch deutlich grün war, in einem sehr

schmutzigen Roth. Die grüne Farbe des Streifens verwandelt sich also lediglich infolge der Entfernung der rothen Blätter in ihre, allerdings sehr verunreinigte Gegenfarbe (vergl. §. 31).

Zur Erklärung solcher Fälle benützt Helmholtz die „falschen Urtheile", indem er sagt, der Streifen werde gar nicht roth, sondern nach wie vor grün empfunden, aber im Gegensatze zu dem ungewöhnlich satten Grün der Umgebung roth vorgestellt. Im Contrast zu einem so intensiven Grün halte man das durch Ermüdung sehr abgeschwächte Grün des Streifens nicht blos für nicht grün, sondern sogar für röthliches Grau. Durch diese „psychologische" Erklärung kann also Roth in Grün und überhaupt jede Farbe in ihre Gegenfarbe verkehrt werden.

Aber ebenso, wie ich früher für die schwarzweißen Empfindungen die Haltlosigkeit derartiger Erklärungen nachgewiesen habe, läßt sie sich auch für die farbigen darthun. Die Versuche über Contrast und Induction, die ich für Weiß und Schwarz beschrieben habe, lassen sich, wie schon erwähnt wurde, auch mit je zwei Gegenfarben anstellen, wenn man mit möglichst neutral gestimmten Sehorgane arbeitet oder die Umstimmung desselben durch die eben herrschende Beleuchtung mit einrechnet.

Sehr schlagend sprechen meiner Meinung nach die Erfahrungen an Farbenblinden gegen die Young'sche Theorie, obwohl man gerade in ihnen eine Stütze der Theorie gefunden zu haben glaubte. Was man jetzt einen Rothblinden nennt, ist vielmehr ein Roth-Grünblinder, d. h. es fehlt ihm die rothgrüne Sehsubstanz. Dem entsprechend sieht er farblos, was Andern in einer der beiden Grundfarben Roth oder Grün erscheint; in allen Roth oder Grün enthaltenden Mischfarben aber sieht er nur das Gelb oder Blau. In seinem Sonnenspectrum liegen nur zwei Partialspectren, das schwarzweiße und das gelbblaue. Die Stelle des Grün erscheint ihm farblos und theilt sein Spectrum in eine gelbe und eine blaue Hälfte. Reines Gelb und reines Blau nebst Schwarz und Weiß genügen also, um alle ihm vorkommenden Farben daraus zu mischen.

Ob es solche absolut Roth-Grünblinde gibt, weiß ich nicht; schon wenn die Menge der rothgrünen Substanz abnorm gering ist, werden alle ihr zugehörigen Empfindungen unter die Schwelle kommen können, und die wesentlichsten Erscheinungen der sogenannten Rothblindheit auftreten.

Die Widersprüche, in die man sich, wie die neue Literatur über diesen Gegenstand zur Genüge zeigt, immer wieder verwickelt, so oft man die Farbenblindheit aus der Young'schen Theorie erklären will, lösen sich, soviel ich bis jetzt sehe, leicht

bei der Erklärung aus meiner Theorie, wie ich später selbst zu zeigen gedenke.

Auch der Plateau'schen Theorie liegt ein richtiger Gedanke zu Grunde, insofern sie von der schon alten Annahme gegensätzlicher Zustände des Sehorganes ausgeht, und ein weiterer Vorzug dieser Theorie liegt darin, daß sie den simultanen Contrast physiologisch zu erklären sucht. Aber jede ersprießliche Durchführung der Theorie müßte sofort an der paradoxen Annahme Plateau's scheitern, daß „complementäre" Farben sich zu Weiß ergänzen, wenn sie objectiv, zu Schwarz, wenn sie nur subjectiv gegeben sind, was sich, wie bereits Fechner zeigte, schon durch kleine Abänderungen derjenigen Versuche widerlegen läßt, durch welche es Plateau zu beweisen suchte.

§. 48.

Schlußbemerkungen.

Ehe ich diese Mittheilungen über die Grundzüge einer neuen Theorie des Licht- und Farbensinnes schließe, möchte ich noch einmal in der Kürze die Hauptpunkte derselben hervorheben, damit nicht etwa über einer Discussion untergeordneter, hier nur flüchtig und vielleicht mangelhaft erörterter Nebendinge die Hauptsache aus dem Auge verloren werde.

Die vorliegende Theorie, obwohl zunächst gegründet auf eine möglichst vorurtheilsfreie Analyse der Gesichtsempfindungen wurzelt doch sehr wesentlich mit in gewissen Grundgesetzen, welche ich aus den Erscheinungen des organischen und des psychischen Lebens überhaupt abstrahirt habe und freilich hier nur nebenbei behandeln konnte, nämlich einerseits in dem im §. 29 ausgesprochenen psychologischen Grundgesetze, aus welchem sich die wichtige Feststellung des Begriffes der Qualität und des Gewichtes der Empfindungen ergab, und andererseits in dem Satze, daß jede lebendige und erregbare Substanz, entsprechend den in ihr gleichzeitig stattfindenden Dissimilirungs- und Assimilirungsprocessen, auch eine oder mehrere specifische *D*-Erregbarkeiten und ebenso viele *A*-Erregbarkeiten besitzt, und daß man demgemäß auch die *D*-Reize von den *A*-Reizen zu unterscheiden

habe, die *D*-Ermüdungen von den *A*-Ermüdungen etc. Erst durch diese Auffassung kommt meiner Ansicht nach Zusammenhang in zahlreiche Sätze der Physiologie überhaupt und insbesondere der Nerven- und Muskelphysiologie, so wie etwas Licht in die Erscheinungen des psychischen Lebens.

Was nun die Licht- und Farbenlehre insbesondere betrifft, so ist zuerst das auf die innere Ähnlichkeit der Empfindungen gegründete natürliche System der Gesichtsempfindungen zu betonen, worin jeder Empfindung ihre Stelle bestimmt ist durch das Verhältniß, in welchem die sechs Grundempfindungen (deren mehrere unter der Schwelle sein können) gleichsam gemischt erscheinen; ferner die Gruppirung der sechs Grundempfindungen zu drei Paaren von Gegenfarben.

Hieran reiht sich als fundamental wichtig die Auffassung der Gesichtsempfindungen als des psychischen Correlates der Ernährungsvorgänge oder des Stoffwechsels in der Sehsubstanz, welche Auffassung zur Unterscheidung von *D*- und *A*-Empfindungen, und weiter zu dem Satze führt, daß jede *D*-Empfindung eine Abnahme, jede *A*-Empfindung eine Zunahme der Sehsubstanz bedeutet. Entsprechend den drei Paaren einfacher oder Grundempfindungen werden drei Arten des Dissimilirungs- und Assimilirungsprocesses der Sehsubstanz und drei Arten specifischer *A*- und *D*-Erregbarkeit angenommen. Die Farblosigkeit des aus „complementären“ Lichtarten gemischten Lichtes wird aus dem antagonistischen Verhalten solcher Lichtarten erklärt.

Zum ersten Male wird ferner methodisch und umfassend der Nachweis geführt, daß die einzelnen Theile des nervösen Sehorganes in inniger functioneller Wechselbeziehung stehen, welche Wechselbeziehung als eine gegenseitige Beeinflussung des Stoffwechsels aufgefaßt wird, derart, daß wenn $\frac{D}{A}$ an einer gereizten Stelle größer wird, es in der Umgebung kleiner wird und umgekehrt, so daß nach der Reizung beide Theile in entgegengesetztem Sinne in ihrer Erregbarkeit verändert sind.

Diese Sätze und ihre Folgerungen boten nun zwar die Möglichkeit, jede der erwähnten Erscheinungen zu erklären, aber es zeigte sich dabei, daß öfters für eine und dieselbe Erscheinung

zunächst mehrere Erklärungen denkbar waren, und daß die Entscheidung über die richtige späteren Detailuntersuchungen vorbehalten werden mußte. Hierin wird man vielleicht einen Mangel der Theorie sehen, aber ganz mit Unrecht. Denn dieser scheinbare Mangel ist durchaus im Wesen der Sache begründet und vielmehr ein Vorzug der neuen Theorie, insofern als jede Theorie, die weniger Variable einführt, als zur Erklärung aller Erscheinungen nöthig sind, zwar den scheinbaren Vorzug größerer Einfachheit, aber den wirklichen Nachtheil der Unzulänglichkeit hat.

Was wir in einer Gesichtsempfindung unmittelbar auffassen, ist das Verhältniß der entsprechenden *D*- und *A*-Processe zu einander, denn durch dieses ist die Qualität der Empfindung bedingt. Die Veränderung der Empfindung gibt uns also auch zunächst nur Aufschluß über die Veränderung jenes Verhältnisses, nicht aber über die absoluten Veränderungen der einzelnen Glieder jenes Verhältnisses. So kommt es, daß man bei der Erklärung so oft zunächst die Wahl hat zwischen einer Steigerung der Assimilirung und einer Hemmung oder Minderung der Dissimilirung und umgekehrt. Aber die Theorie gibt selbst Mittel und Wege in die Hand, durch eingehendere Untersuchungen auch die Veränderungen der einzelnen Glieder jenes Verhältnisses festzustellen. Infolge dessen vermag man dann mit Hilfe dieser Theorie auch Einzelheiten zu erklären, die den bisherigen Theorien ganz unzugänglich waren.

Derartige Untersuchungen aber sind, sobald man durch sie über die Hauptphänomene hinaus zu den feineren Einzelheiten vorzudringen sucht, sehr zeitraubend, weil die Stimmung des Sehorganes eine so sehr labile und die Beleuchtung eine so variable ist, daher es schwer wird, oft hintereinander immer wieder dieselben Versuchsbedingungen herbeizuführen.

Obgleich ich selbst sehr gut weiß, wie viel hier noch zu thun ist, habe ich es doch für zweckmäßig gehalten, stellenweise schon hier die Erklärung des Details zu versuchen, nur um zu zeigen, daß und wie sie möglich ist. Wenn ich hiebei einigemale besondere Annahmen machen mußte, so waren dies doch, worauf ich Gewicht lege, keine von außen hergeholten Hilfshypo-

thesen, sondern das Hypothetische lag nur in der vorläufigen Bevorzugung einer von mehreren Möglichkeiten, welche sich folgerichtig aus der Theorie entwickeln ließen. Spätere ausführlichere Erörterungen einzelner Fragen werden mir Gelegenheit geben, diese vorläufigen Erklärungen entweder als die richtigen zu erweisen oder durch bessere zu ersetzen. Die Hauptsätze der Theorie werden dadurch, wie ich hoffe, nicht alterirt werden.